

Ф. И. Барсуков

ИЗМЕРЕНИЯ НА РАССТОЯНИИ

Ф. И. Барсуков

ИЗМЕРЕНИЯ НА РАССТОЯНИИ

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1963

6Ф2.08
Б 26

Ф. И. Барсуков. **Измерения на расстоянии**

В брошюре в популярной форме рассказывается о том, как измеряются на расстоянии различные величины. Описываются принципы действия и устройство простейших датчиков, преобразующих измеряемую величину в электрические сигналы. Поясняются методы передачи телеметрических сигналов по радио, способы регистрации и обработки их на приемной стороне. Брошюра рассчитана на лиц, не имеющих специальной подготовки. При ее написании использовались материалы открытой отечественной и зарубежной печати.

ВВЕДЕНИЕ

Измерение различных величин на расстоянии принято называть телеизмерением, или телеметрией.

Телеизмерение является сравнительно новой областью техники. Первые телеизмерительные устройства стали применять для организации диспетчерского управления энергетическими системами. Это вызывалось тем, что с развитием и укрупнением энергетических систем телефонная диспетчерская связь уже не обеспечивала достаточно быструю и полную передачу на центральный пункт управления необходимых сообщений о режиме работы электростанций. Требовалось новое, более совершенное, чем телефонная связь, средство, способное быстро и одновременно передавать информацию о работе многих станций и их отдельных агрегатов.

Таким средством оказалось телеизмерение.

В дальнейшем телеизмерительные устройства начали внедрять в промышленность как средство контроля производственных процессов на расстоянии.

В настоящее время телеметрические системы успешно используются во всех областях науки, техники и военного дела. Трудно себе представить автоматизацию современного производства без средств дистанционного контроля при помощи телеметрических устройств.

Исключительно велика роль телеметрии в науке и производстве при контроле процессов, наблюдение за которыми связано с определенными неудобствами или же с опасностью для здоровья и жизни людей. Характерным примером в этом отношении может быть контроль за работой реакторов атомных электростанций, атомного ледокола, атомных подводных лодок и т. д.

Особое место среди телеизмерений занимает радиотелеметрия. С помощью ее средств можно измерять различные величины на больших расстояниях на неподвижных и движущихся объектах.

Радиотелеметрия применяется и для передачи метеорологических данных с шаров-зондов (радиозондов) на наземный пункт контроля за метеообстановкой.

В современных условиях радиотелеметрические системы весьма широко и плодотворно используются для научных исследований верхних слоев атмосферы, а также космического пространства с помощью ракет и искусственных спутников Земли. Не менее важное значение техника радиотелеметрии имеет при испытаниях новых образцов самолетов, ракет и других летательных аппаратов. Радиотелеметрические системы успешно применяются для передачи на наземные пункты управления и наблюдения данных о работе в полете различных агрегатов космических кораблей, а также данных, характеризующих физиологические процессы в организмах их пассажиров.

Развитие радиотелеметрии идет по пути разработки и совершенствования принципов построения как систем в целом, так и их отдельных узлов. Широкое применение новых электронных приборов, радиодеталей и материалов позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики проектируемых устройств и расширить возможности их использования.

Возросшая роль телеметрических средств во всех сферах деятельности человека вызывает интерес к ним не только специалистов в этой области, но и широкого круга лиц, желающих познакомиться с принципами построения, особенностями и возможностями использования средств телеметрии.

I. ИЗМЕРЕНИЯ НА РАССТОЯНИИ ПО ПРОВОДАМ

Непосредственное измерение величин

Чтобы лучше понять принципы и особенности телеизмерений, остановимся кратко на том, как непосредственно измеряются различные величины. С непосредственным их измерением можно встретиться весьма часто в любой области деятельности людей. Практически приходится измерять:

— механические величины, к которым относятся перемещения (линейные и угловые), скорость, ускорение, силы и моменты сил, упругость, частота колебаний, размеры, вес и объем различных тел;

— физические величины, такие как температура, количество тепла, теплоемкость, магнитные свойства материала, цвет, освещенность, световой поток, сила света, интенсивность излучения и т. д.;

— химические величины — концентрация вещества и его количество;

— органические величины, связанные с физиологическими процессами в организмах, и многие другие.

Что же представляет собой процесс непосредственного измерения перечисленных выше величин?

Известно, что при измерении, например, линейного размера некоторого тела или предмета поступают следующим образом: берут метр и определяют, сколько раз уложится взятый метр или его часть в измеряемом расстоянии. Когда этот процесс закончен, говорят, что измеряемая величина равна такому-то количеству метров (сантиметров, миллиметров и т. д.).

Взвешиванием тела определяют, сколько однокилограммовых гирь или других весовых единиц уравновесит взвешиваемое на весах тело.

Аналогичным образом, сравнивая, измеряют и другие величины. Таким образом, можно сказать, что измерение любой величины заключается в сравнении ее с некоторым значением, принятым за единицу (эталон). Результатом измерения является числовое значение или просто число, которое показывает, во сколько раз измеряемая величина больше или меньше единицы измерения.

Разумеется, что единица измерения должна быть того же рода, что и измеряемая величина. Иначе говоря, для измерения линейных размеров эталоном должна быть линейная мера, для измерения веса тела — весовая мера и т. д.

Размер единиц измерения должен быть неизменным, иначе результаты измерений одной и той же величины, проведенных в разное время, будут выражаться разными числами. С этой целью в отношении некоторых наиболее употребительных единиц измерения, например, метра, килограмма и ряда других единиц, приняты специальные меры сохранения их как эталонов.

Если некоторая величина измеряется путем непосредственного сравнения с эталоном, то такое измерение называется прямым. К прямому методу измерений относится бóльшая часть измерений, осуществляемых при помощи приборов, заранее отградуированных в определенных единицах (пружинных весов, градуированных объемов жидкостей, термометров и т. п.). К этому же методу относятся измерения, осуществляемые непосредственным сравнением с образцовой мерой (эталоном).

Однако не все величины можно измерить прямым методом. Во многих случаях провести прямые измерения весьма трудно или же невозможно.

В самом деле, как, например, измерить прямым методом объем твердого тела или его удельный вес, скорость движущегося тела и его ускорение и т. д.? Нельзя измерить прямым методом и многие другие величины. В таких случаях прибегают к так называемым косвенным методам измерений, при которых результат

определяется на основании прямых измерений других величин, связанных с измеряемой определенной зависимостью.

Например, при определении объема твердого тела правильной прямоугольной формы вначале измеряют его длину, ширину и высоту, а затем, перемножив эти величины, находят объем тела.

Удельный вес тела находят косвенным методом, путем деления его веса на объем.

Скорость движущегося тела определяют как частное от деления пройденного пути на время, за которое этот путь пройден.

Для измерения многих величин косвенным методом иногда нужно провести большое количество прямых измерений различных по своему характеру величин.

Техника измерений совершенствуется. Создаются многочисленные приборы, которые позволяют непосредственно измерять величины, определение которых раньше требовало много прямых измерений и вычислений.

За последнее время широко применяются электрические методы измерений неэлектрических величин. Сущность этих методов сводится к тому, что измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в пропорциональную ей электрическую, последняя же измеряется электрическим прибором. Например, нужно измерить скорость вращения вала паровой турбины. Электрическим методом это можно сделать так. С валом связывают ось измерительного генератора электрического напряжения. Величина напряжения, получаемого от генератора, в этом случае будет зависеть от скорости вращения его ротора, т. е. вала турбины. Поэтому если к измерительному генератору подключить вольтметр, то его стрелка с увеличением оборотов турбины будет отклоняться больше. Шкалу вольтметра можно проградуировать в числах оборотов вала измерительного генератора. Такой прибор более удобен в эксплуатации, чем другие механические приборы измерения скорости вращения.

Широкое применение электрических методов измерения объясняется тем, что они более удобны, чем другие методы, и, кроме того, обеспечивают измерение различных величин на расстоянии.

Измерение величин на расстоянии

Наиболее часто телеизмерение используется как средство контроля за состоянием объектов, находящихся на расстоянии. Необходимость в таком контроле возникает при автоматизации производственных процессов управления объектами на удалении и в ряде других случаев.

Известно, что состояние любого объекта или процесса характеризуется определенными величинами. Так, например, состояние котельной установки во время ее работы характеризуется в основном давлением и температурой пара, уровнем воды в котле и другими параметрами.

Следовательно, контроль за работой установки будет сводиться к наблюдению за манометром и термометром, измеряющими соответственно давление и температуру пара, а также за водомерным устройством, показывающим уровень воды в котле.

Как же быть в том случае, если контролируемый объект находится на значительном расстоянии и наблюдать непосредственно показания приборов, характеризующих его режим, нельзя?

Обычные измерительные приборы не могут передавать свои показания на расстояние. Чтобы решить эту задачу, необходимо соответствующим образом реконструировать сами приборы.

Рассмотрим пример простейшей реконструкции приборов.

Допустим, что необходимо контролировать в некотором резервуаре, находящемся на значительном удалении, предельно допустимые значения давления и температуры газа. Пусть давление газа на месте измеряется манометром, а температура — термометром. Для данного случая манометр и термометр можно реконструировать так На шкале манометра укрепить два неподвижных электрических контакта: один — напротив красной черты, указывающей максимально допустимое давление газа, а другой — напротив черты, характеризующей минимально допустимое давление. Стрелка гальванометра дополнительно будет выполнять роль подвижного контакта (рис. 1).

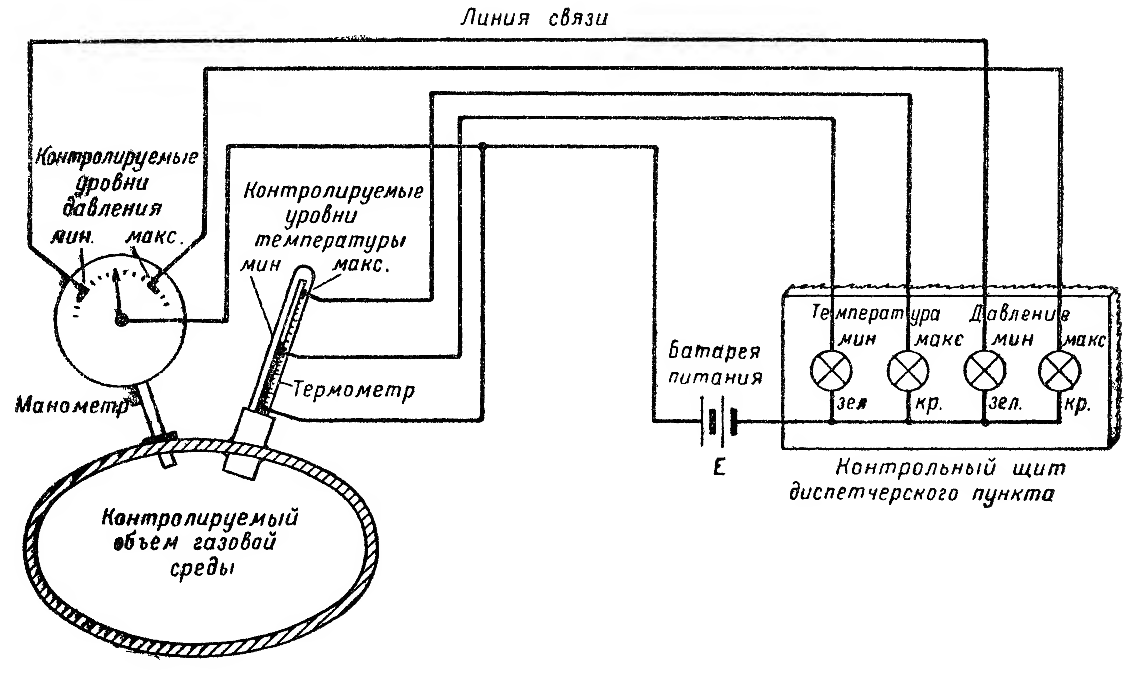


Рис. 1. Схема системы телесигнализации

С изменением давления стрелка гальванометра начнет перемещаться по шкале до соприкосновения с одним из неподвижных контактов. При этом будет замыкаться соответствующая электрическая цепь и включаться сигнальная лампочка на пункте контроля.

Загорание синей лампочки, например, будет свидетельствовать о том, что давление газа упало до предельно низкого значения, а красной — что оно возросло до предельно высокого значения. По этим сигналам оператор, контролирующий работу устройства, примет необходимые меры. Если не горят обе лампочки, то это означает, что давление газа находится в допустимых пределах.

Уровни температуры газа или другой среды можно контролировать также с помощью обычного ртутного термометра с впаянными контактами (рис. 1). Роль подвижного контакта в этом случае выполняет столбик ртути, высота которого определяется, как известно, величиной измеряемой температуры.

Пульт контроля с сигнальными лампочками может устанавливаться на значительном расстоянии от контролируемого объекта.

Описанные устройства дистанционного контроля, которые сигнализируют только о предельных или некоторых промежуточных значениях контролируемых величин, называют системами телесигнализации. Однако практически в большинстве случаев при дистанционном контроле нужно знать не только предельные и некоторые промежуточные значения контролируемой величины, а все ее плавно изменяющиеся значения.

В самом деле, возвращаясь к рассмотренному примеру дистанционного контроля за давлением и температурой газа, лучше знать на пункте управления, какое в данный момент давление газа и какова его температура, чем, оставаясь в неопределенности, ожидать, когда загорится та или иная сигнальная лампочка.

В связи с этим возникает необходимость в непрерывной передаче на контрольный пункт всех значений измеряемой прибором величины.

Каким же образом можно выполнить эту задачу?

Ответ на этот вопрос начнем с рассмотрения прос-

тейшей системы передачи показаний манометра, измеряющего давление некоторой жидкости или газа.

Представим себе, что с осью стрелки манометра (рис. 2) механически связан подвижный контакт переменного сопротивления (потенциометра). На контрольном пункте, удаленном на значительное расстояние от контролируемого объекта, устанавливается вольтметр, соединенный проводами с переменным сопротивлением.

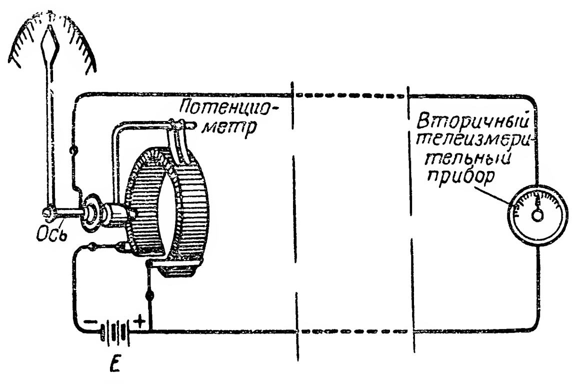


Рис. 2. Схема телеизмерительного устройства с потенциометрическим датчиком

Передача показаний манометра происходит следующим образом. С увеличением угла отклонения стрелки манометра движок переменного сопротивления переместится на соответствующую величину. В результате напряжение, снимаемое с этого сопротивления, увеличится. При этом стрелка вольтметра отклонится на больший угол. Шкала волтметра может быть отградуирована в единицах измеряемого давления.

Таким методом можно передавать показания любого стрелочного прибора.

Если внимательно рассмотреть схему передачи показаний манометра на расстояние, то в ней можно обнаружить три основные составные части, которые свойственны всем системам передачи на расстояние измеренных значений различных величин. Что это за части?

Прежде всего преобразователь, или, как его иначе называют, д а т ч и к, при помощи которого измеряемая величина преобразуется в эквивалентную электриче-

скую. Датчик — это обязательный элемент любой телеметрической системы, так как на большие расстояния могут передаваться только электрические величины. Если же нужно передать на расстояние некоторую неэлектрическую величину, то ее прежде необходимо преобразовать в электрическую. Это преобразование должно производиться с определенным коэффициентом так, чтобы, зная его значение, можно было на приемной стороне по измеренной электрической величине установить значение измеряемой на расстоянии неэлектрической величины.

В рассмотренной схеме (рис. 2) измеряемой величиной, которую нужно было передать, был угол поворота стрелки первичного измерительного прибора. Передаваемый угол преобразовывался при помощи потенциометра в электрическое напряжение, пропорциональное углу поворота стрелки прибора. При повороте стрелки, допустим, на каждые 10° напряжение, снимаемое с потенциометра, увеличивалось на 1 *в*. Следовательно, коэффициент пропорциональности равен 10. В этом случае для определения угла отклонения стрелки манометра надо на контрольном пункте показание индикаторного прибора в вольтах умножить на 10.

Таким образом, в рассматриваемой простейшей системе (рис. 1) потенциометр является преобразователем (датчиком) механической величины (угла поворота стрелки) в электрическую (электрическое напряжение). Такой преобразователь называется потенциометрическим датчиком.

Напряжение, снимаемое с выхода датчика, передается на диспетчерский пункт по электрическим проводам, которые часто называют линией передачи сигналов.

Линия передачи является второй основной частью всякой системы телеизмерений.

И наконец, третьей важной частью системы является индикаторное или регистрирующее устройство, расположенное на контрольном (диспетчерском) пункте.

При рассмотрении принципов действия телеметрических систем наибольший интерес представляют датчики и регистрирующие приборы. Поэтому рассмотрим подробнее принцип действия этих устройств.

Датчики

Как уже указывалось, датчиками называются устройства, воспринимающие измеряемые величины и преобразующие их в электрические сигналы. Выбор типа и конструкции датчика определяется спецификой предстоящих измерений. Выходными электрическими величинами датчиков обычно являются омическое, индуктивное или емкостное сопротивление, ЭДС или падение напряжения, частота и фаза переменного тока. Важнейшей характеристикой всех типов датчиков является их чувствительность, или, как мы ее называли раньше, коэффициент пропорциональности.

Чувствительностью датчика называют отношение величины приращения выходной электрической величины к величине изменения входной неэлектрической величины.

Датчик должен обеспечивать возможность получения непрерывной зависимости выходной величины от измеряемой входной, достаточную чувствительность, необходимый диапазон изменений измеряемой величины и не должен оказывать существенного обратного влияния на измеряемую неэлектрическую величину. Последнее требование сводится к тому, чтобы включаемый датчик как можно меньше искажал измеряемую величину. В самом деле, если в рассмотренном ранее примере (рис. 2) к стрелочному прибору подключить потенциометр с туго проворачиваемым подвижным контактом, то показания прибора будут сильно искажаться. Известно большое число датчиков, отличных по своей конструкции и назначению. Они классифицируются по различным признакам, важным в том или другом отношении. В последнее время широко используется классификация по принципу действия датчиков. В соответствии с этими признаками датчики подразделяются на потенциометрические, проволочные (тензометрические), индуктивные, емкостные, магнитоупругие, индукционные, термоэлектрические, фотоэлектрические, ламповые, радиационные, датчики термосопротивления, датчики контактного сопротивления, пьезодатчики и комбинированные датчики.

Потенциометрические датчики. Потенциометрическим датчиком называется переменное сопротивление,

подвижный контакт которого механически связан с объектом, перемещение которого надо измерить (рис. 3). Если такое переменное сопротивление питается от источника постоянного напряжения E, то с подвижного и одного из неподвижных контактов может сниматься напряжение, величина которого будет зависеть от положения подвижного контакта.

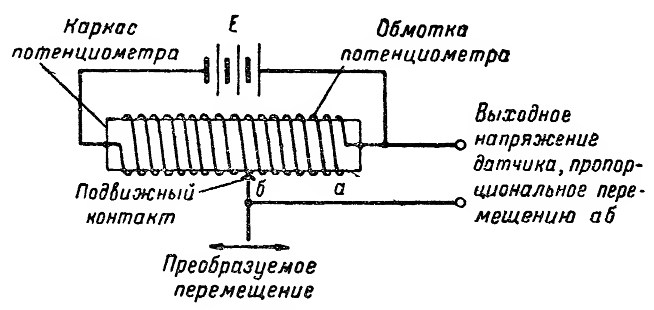


Рис. 3. Потенциометрический датчик

Потенциометрические датчики применяются при измерении механических перемещений, геометрических размеров, уровня жидкостей и т. п.

Проволочные (тензометрические) датчики. Принцип действия проволочных датчиков основан на свойстве металлической проволоки изменять свое сопротивление при растяжении внешней силой. При растягивании проволоки ее сопротивление изменяется за счет увеличения длины, уменьшения сечения и изменения удельного сопротивления. Если проволочный датчик включить в электрическую цепь (рис. 4), то при растяжении прово-

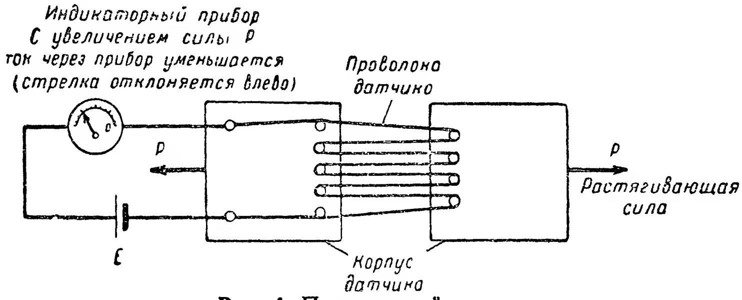


Рис. 4. Проволочный датчик

локи датчика ток в цепи будет изменяться в соответствии с растягивающей силой.

Проволочные датчики выполняются в виде спиралей, струны и т. п. Они используются при измерении малых перемещений (главным образом различных деформаций), исследовании различного рода вибраций с достаточно высокой частотой (до 30 *кгц*), в манометрах, динамометрах, микрометрах и других аналогичных устройствах.

Датчики контактного сопротивления. Известно, что контактное сопротивление между поверхностями двух

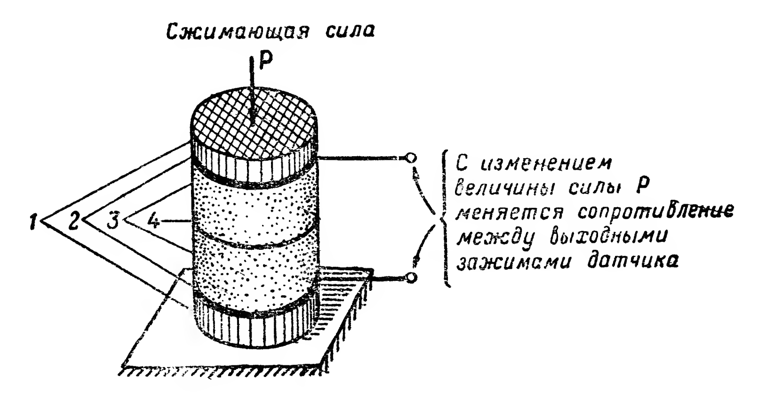


Рис. 5. Датчик контактного сопротивления:
1 — металлические шайбы, воспринимающие нагрузку; *2* — токосъемные пластины; *3* — угольные стержни; *4* — соприкасающиеся поверхности

твердых тел зависит от величины давления одного тела на другое. Чем больше давление, тем меньше контактное сопротивление, и наоборот. Это явление используется в датчиках контактного сопротивления.

Контактное сопротивление между поверхностями твердых тел зависит также от материала этих тел и от качества обработки соприкасающихся поверхностей.

Наиболее существенное изменение контактного сопротивления в зависимости от давления происходит при применении в качестве соприкасающихся тел электродных углей (рис. 5).

Датчики контактного сопротивления используются при измерении различных механических давлений, малых перемещений, вибраций, ускорений и др.

Термосопротивления. В этом типе преобразователей используется свойство проводника изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от температуры.

С помощью термосопротивления может преобразовываться любая неэлектрическая величина, влияющая на его теплообмен с окружающей средой, так как собственная температура термосопротивления определяется тепловым равновесием между ним и окружающей средой.

Термосопротивления применяются для измерения температур, различных параметров газовой среды (скорости, теплопроводности), определения кислорода в воде, питающей паросиловые установки и др.

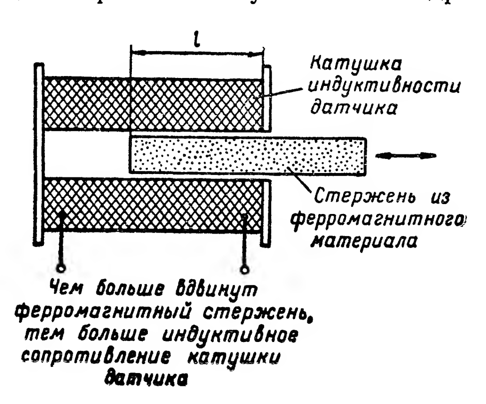


Рис. 6. Индуктивный датчик

Индуктивные датчики. Действие индуктивных датчиков основано на свойстве катушки индуктивности изменять свое результирующее сопротивление при введении в нее ферромагнитного сердечника или при изменении величины зазора в магнитном сердечнике, на котором помещена катушка. Преобразуемой величиной в этом случае может быть механическое перемещение (линейное или угловое), а выходной величиной датчика — изменение индуктивности катушки (рис. 6).

Емкостные датчики. Емкость конденсатора зависит от трех параметров: площади обкладок, расстояния между ними и диэлектрической постоянной среды между обкладками.

В соответствии с числом параметров, определяющих емкость конденсаторов, различают три типа емкостных датчиков:

— с изменяющейся площадью обкладок (рис. 7);

— с изменяющимся расстоянием между обкладками;

— с изменяющейся диэлектрической постоянной.

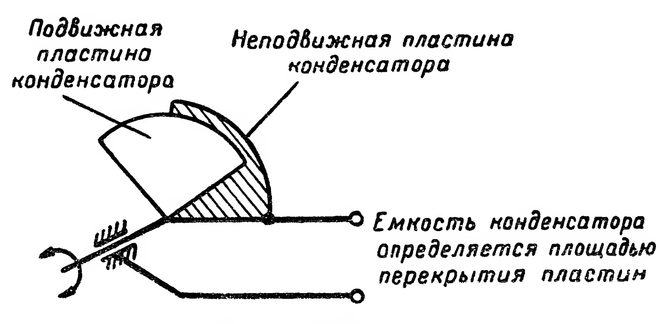


Рис. 7. Емкостный датчик

Емкостные датчики могут применяться для преобразования механических перемещений (линейных и угловых), геометрических размеров деталей, расстояний между деталями, состава физических смесей, частоты вращения, вибраций, измерения уровня жидкостей и других величин. Выходной электрической величиной емкостных датчиков является емкость между его пластинами.

Магнитоупругие датчики. Магнитоупругий датчик представляет собой магнитопровод с размещенной на нем катушкой индуктивности. Если магнитопровод сжать, то его магнитная проницаемость изменится, что приведет к изменению полного электрического сопротивления катушки датчика. Таким образом, входной величиной датчика может быть механическое усилие, а выходной — индуктивное сопротивление катушки датчика (рис. 8).

Индукционные датчики. В индукционных датчиках используется явление электромагнитной индукции, заключающееся в том, что в проводнике, перемещаемом в магнитном поле перпендикулярно направлению магнитных силовых линий, наводится электродвижущая си-

ла, пропорциональная скорости движения проводника (аналогично наводится ЭДС при перемещении магнитного поля относительно проводника или же при изменении интенсивности магнитного поля вокруг проводника).

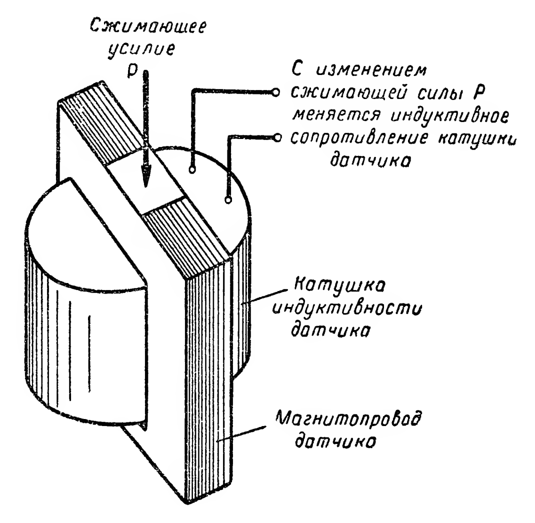


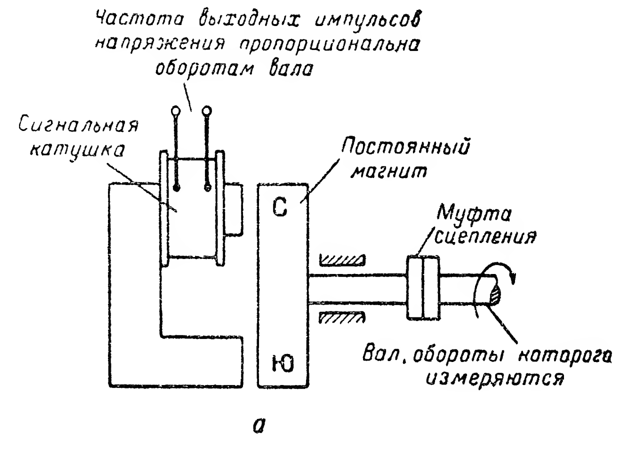
Рис. 8. Магнитоупругий датчик

Индукционные датчики непосредственно могут применяться только для измерения скорости линейных и угловых перемещений. Особые конструкции датчиков этого типа позволяют измерять ускорения вращающихся валов. Разновидностями индукционных датчиков являются импульсные и вибрационные датчики (рис. 9). Работа импульсных датчиков основана на резком изменении магнитного поля у сигнальной катушки, с которой снимается выходное импульсное напряжение. В сигнальной катушке вибрационного датчика ЭДС наводится при вибрации сердечника датчика — постоянного магнита.

Выходной величиной индукционных датчиков может быть электродвижущая сила или частота выходного напряжения.

Термоэлектрические датчики (термопары). Принцип действия термоэлектрических датчиков основан на

явлении термоэлектрического эффекта, заключающегося в том, что если два разнородных проводника соединить в одной точке и место соединения нагреть, то на



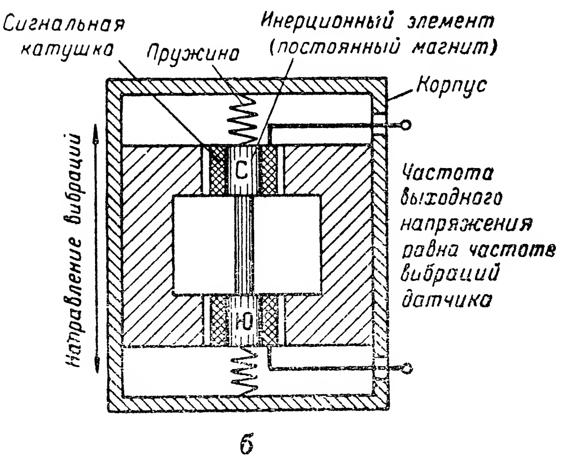


Рис. 9. Индукционные датчики:
а — импульсный; *б* — вибрационный

свободных концах этих проводников появится ЭДС (рис. 10). Величина ее зависит от материалов, из которых изготовлены элементы термопары, и от разности температур соединенных и свободных концов.

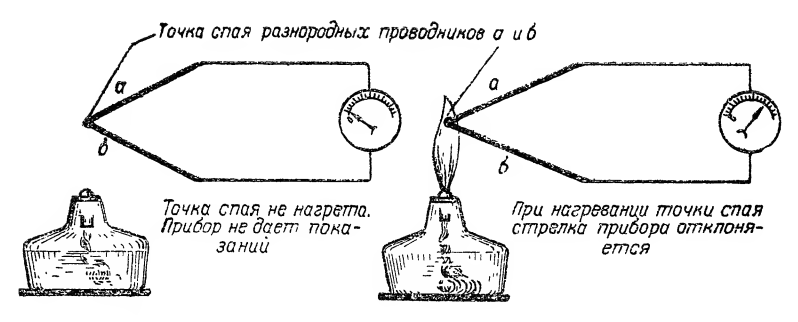


Рис. 10. Термоэлектрический датчик (термопара)

Пьезодатчики. В пьезоэлектрических датчиках (ПД) используется эффект появления заряда на гранях кристалла при его механической деформации. Величина заряда пропорциональна величине упругих напряжений и не зависит от размеров поверхности нагруженного кристалла. Основным элементом пьезодатчиков является пластинка, вырезанная определенным образом из кристалла. Наибольший пьезоэффект проявляется у кристаллов турмалина, кварца и сегнетовой соли.

Пьезодатчики практически безынерционны, поэтому могут быть использованы для исследования быстроизменяющихся усилий.

Фотоэлектрические датчики. Это устройства, изменяющие свои параметры под действием световой энергии.

Фотоэлектрические датчики называются фотоэлементами.

Применяются три типа фотоэлементов: с запирающим слоем, или вентильные фотоэлементы, с внешним фотоэффектом и фотосопротивления.

Если фотоэлемент включить в электрическую схему, то с увеличением интенсивности падающего на его поверхность света ток в цепи увеличится.

Фотоэлементы широко применяются в качестве датчиков при преобразовании различных физических величин.

Ламповые датчики. Основой работы датчика этого типа является зависимость анодного тока электронной или ионной лампы от геометрических размеров ее электродов и расстояния между ними.

Ламповый датчик представляет собой электронную лампу, отдельные электроды которой при внешнем механическом воздействии на них могут смещаться относительно других неподвижных электродов.

Перемещение подвижного электрода может быть произведено как непосредственно под воздействием механической величины (лампы внутреннего управления), так и посредством эластичной части баллона лампы (лампы внешнего управления).

Радиационные датчики. В датчиках этого типа используется воздействие входной преобразуемой величины на интенсивность проникающего излучения α, β или γ-лучей.

В состав датчика входят источник и приемник проникающего излучения. В качестве источников излучения применяются искусственные радиоактивные вещества. Приемником излучений обычно служит ионизационная камера, представляющая собой сосуд с газом. Внутри камеры помещен электрод, а корпус камеры служит вторым электродом. К обоим электродам подводится напряжение постоянного тока. Если в камеру направить проникающее излучение, то под его воздействием произойдет ионизация газа, то есть в газовой среде появятся свободные электроны. За счет их потечет ток между электродами. Чем больше излучение, тем больше ионизационный ток, и наоборот. На пути проникающего излучения может быть помещен исследуемый объект. Он будет менять интенсивность излучения, попадающего в камеру. Следовательно, ионизационный ток будет зависеть от параметров исследуемого объекта. Радиационные датчики могут использоваться для измерения геометрических размеров тел, их плотности, температуры и т. д.

Комбинированные датчики представляют собой устройства, в которых измеряемая величина превращается в электрическую путем многократного преобразования. Комбинированные датчики используются в тех случаях, когда преобразуемая неэлектрическая величина по условиям преобразования или из-за своих особенностей не может быть непосредственно превращена в электрическую.

Примером комбинированного датчика служит акселерометр, преобразующий линейное ускорение в элек-

трическое напряжение. Акселерометр состоит из двух преобразователей. Первый из них представляет собой массивное тело, свободно насаженное на ось (рис. 11). Второй преобразователь—потенциометрический датчик, подвижный контакт которого связан с массивным телом первого преобразователя. При наличии ускорения вдоль оси массивное тело за счет инерции перемещается относительно корпуса датчика (вдоль оси) в сторо-

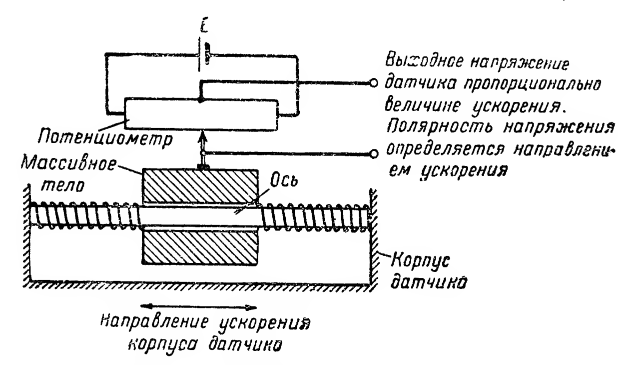


Рис. 11. Комбинированный датчик

ну, обратную направлению ускорения (ускорение преобразуется в линейное перемещение). Движение тела вдоль оси ограничивается пружинами. Вместе с массивным телом увлекается движок потенциометра. Это приводит к появлению на выходе потенциометра напряжения, пропорционального ускорению. Иногда первый преобразователь комбинированного датчика называют чувствительным элементом.

Телеметрические системы ближнего и дальнего действия

По дальности действия телеметрические системы делятся на две большие группы — системы ближнего и дальнего действия. Системы ближнего действия обеспечивают передачу значений измеряемых величин с достаточной точностью на расстояния, не превышающие 20—25 *км*.

Системы дальнего действия предназначаются для телеизмерений на расстояниях, достигающих нескольких сотен километров.

В телеметрических системах ближнего действия измеряемая величина обычно преобразуется в пропорциональную ей величину электрического напряжения или тока. Такие системы называются также системами интенсивности. Примером их может служить рассмотренное выше устройство с потенциометрическим датчиком для передачи показаний манометра.

Напряжение с выхода датчика подается по проводам линии связи к контрольному прибору диспетчерского пункта.

С увеличением длины линии связи в ней возрастают потери за счет падения напряжения в проводах и утечки тока через изоляцию. В результате напряжение, подводимое к контрольному прибору диспетчерского пункта, уменьшится и прибор даст заниженные показания, т. е. телеизмерение произойдет с ошибкой. К такому же результату со временем приводит изменение напряжения источника, питающего потенциометрический датчик.

Величина утечки тока и напряжение источника питания потенциометра меняются с течением времени нерегулярно, и эти изменения нельзя учесть при градуировке системы.

Чтобы ошибки телеизмерений не превышали допустимых значений, телеметрические системы интенсивности используются только при измерениях на малых расстояниях.

Для уменьшения погрешностей в телеметрических системах ближнего действия в качестве линий связи применяются кабели, параметры которых мало меняются с течением времени.

Телеизмерительные системы дальнего действия обеспечивают высокую точность передачи значений измеряемых величин независимо от изменений величины утечки тока в линии связи и других ее параметров. Наиболее распространенными в настоящее время телеизмерительными системами дальнего действия являются так называемые частотные системы, в которых мерой передаваемой величины служит частота переменного тока или частота следования импульсов тока, не зависящие от изменения параметров линии связи.

Для пояснения принципа действия таких систем рассмотрим несколько примеров.

На рис. 12 приведена схема простейшей частотной системы контроля скорости вращения вала некоторого устройства (паровой турбины, двигателя внутреннего сгорания или вала иной машины). Датчиком, преобразующим число оборотов вала в эквивалентную электрическую величину, служит генератор переменного тока, ротор которого механически связан с валом машины.

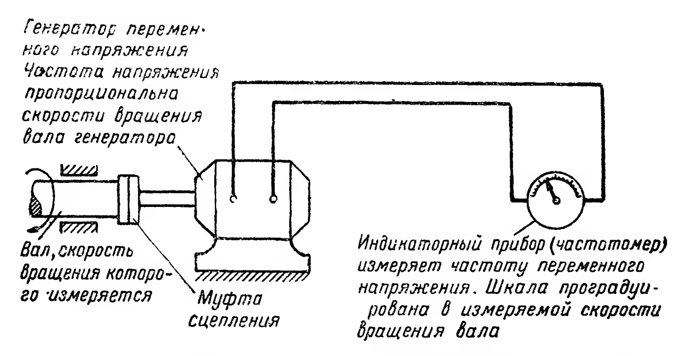


Рис. 12. Схема частотной телеметрической системы

На выходе датчика (генератора) образуется переменное напряжение, частота которого пропорциональна скорости вращения вала генератора. Это напряжение подается по проводам линии связи на контрольный диспетчерский пункт, где в качестве измерительного прибора используется уже не вольтметр, а измеритель частоты переменного напряжения — частотомер.

Если по тем или другим причинам изменилось сопротивление проводов линии связи или имеется утечка тока, то в этом случае будет меняться только величина напряжения, подводимого к прибору, частота же останется прежней.

При большой протяженности линии связи величина напряжения, подводимого к измерительному прибору, за счет потерь в линии связи может уменьшиться настолько, что будет недостаточна для нормальной работы частотомера. В этом случае, перед тем как подать напряжение на прибор, его предварительно усиливают с помощью обычных электронных или магнитных усилителей. При усилении частота сигнала не изменяется, следовательно, не изменится и точность показаний. Та-

ким образом, при передаче показаний на значительные расстояния применяют промежуточные пункты усиления телеметрических сигналов с целью обеспечения нормальной работы частотомера на контрольном пункте.

Для передачи данных о скорости вращения валов может служить импульсный индукционный датчик (см. рис. 9). В этом случае подвижная часть датчика механически связывается с валом, скорость оборотов которого надо контролировать. Выход датчика (сигнальная катушка) подключается к линии связи. В качестве измерительного прибора на диспетчерском пункте при этом используется счетчик импульсов электрического тока в единицу времени.

Для преобразования измеряемой неэлектрической величины в частоту электрических колебаний широко используются электронные генераторы с самовозбуждением. Рассмотрим кратко, как работают такие генераторы и как их можно использовать.

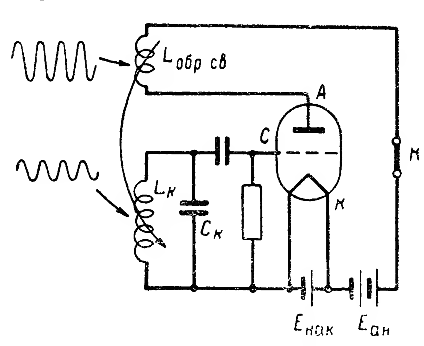


Рис. 13. Схема электронного генератора

В схему генератора (рис. 13) входят колебательный контур, состоящий из индуктивности $L_к$ и емкости $C_к$, электронная лампа, катушка обратной связи $L_{обр.\ св}$ и источники питания. Катушка обратной связи включена в анодную цепь лампы. Создаваемое этой катушкой магнитное поле пронизывает катушку колебательного контура, включенного между сеткой и катодом. В контуре возбуждаются электрические колебания, которые усиливаются лампой и снова попадают в катушку обратной связи. Получается замкнутый круг: колебания, возникшие в катушке обратной связи, «раскачивают» колебательный контур, то есть в нем происходит периодический заряд и разряд емкости $C_к$ через индуктивность $L_к$. В результате в точках включения контура в схему образуется переменное напряжение, которое усиливается лампой. Величина тока лампы изменяется

в такт с величиной напряжения, снимаемого с контура. Ток лампы протекает по катушке обратной связи, которая создает переменное магнитное поле. В этом поле находится катушка колебательного контура. В ней за счет магнитного поля наводится переменная ЭДС, которая поддерживает первоначальные колебания в контуре. Получается, что генератор все время как бы сам себя возбуждает (усиливает собственные колебания), поэтому он называется генератором с самовозбуждением.

Как зарождаются первоначальные колебания в контуре?

Известно, например, что стенные часы начнут работать после того, как их маятнику будет дан начальный толчок. Роль такого толчка в электронном генераторе играет мгновенный импульс тока через лампу при включении батареи питания (замыкание ключа *К*).

В начальный момент колебательный контур генератора находится в состоянии покоя (равновесия). При незначительном изменении тока лампы в контуре возникают слабые колебания. После усиления лампой эти колебания через катушку обратной связи снова возвращаются в колебательный контур. Размах электрических колебаний в контуре постепенно нарастает до своего максимального значения. Частота вырабатываемого генератором напряжения зависит от величин индуктивности $L_к$ и емкости $C_к$, образующих колебательный контур. Поэтому для преобразования с помощью электронного генератора измеряемой неэлектрической величины в частоту переменного тока могут использоваться индуктивные или емкостные датчики.

Представим себе, что на одной оси со стрелкой измерительного прибора (рис. 14) или детали другого устройства, перемещение которой нужно измерить и передать на расстояние, укреплена подвижная пластина конденсатора переменной емкости (емкостный датчик). Если этот конденсатор включить как емкость колебательного контура генератора, то при изменении входной преобразуемой величины изменится величина емкости конденсатора, а следовательно, и частота вырабатываемых генератором колебаний.

Тогда каждому положению стрелки измерительного прибора будет соответствовать своя частота напря-

жения на выходе электронного генератора. Напряжение генератора после усиления подается по линии связи на частотомер контрольно-диспетчерского пункта. Шкала частотомера может быть отградуирована в единицах контролируемой величины. Таким же образом может быть включен в схему генератора и индуктивный датчик.

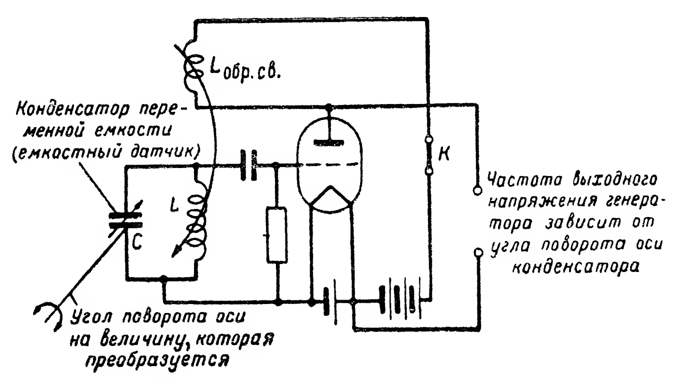


Рис. 14. Схема частотного телеизмерительного устройства с электронным генератором

При некоторой модификации схемы элетронного генератора для изменения частоты генерируемых им колебаний в соответствии с измеряемой величиной, кроме емкости и индуктивных датчиков, могут включаться потенциометрические тензодатчики, термосопротивления, термопары и др.

В связи с этим частотный метод передачи измеряемой величины с использованием электронных генераторов наиболее распространен. В частотных телеизмерительных устройствах дальнего действия для передачи сигналов телеизмерений можно использовать любые действующие провода: телефонные, телеграфные и провода высоковольтной линии электропередачи.

Одновременная передача по одним и тем же проводам сигналов телеизмерений, телефонных или телеграфных сигналов возможна благодаря применению особых частотных фильтров на приемном конце линии связи. Эти фильтры устраняют возможные искажения при телефонном разговоре. Телефонные разговоры результаты телеизмерений не искажают.

II. ИЗМЕРЕНИЯ НА РАССТОЯНИИ С ПОМОЩЬЮ РАДИОСРЕДСТВ

Измерения величин на расстоянии с помощью радиосредств называют *радиотелеметрией*.

Радиотелеметрия как новая область техники появилась сравнительно недавно и за последние 10—15 лет нашла весьма широкое применение.

В настоящее время трудно перечислить все задачи, которые решаются с помощью средств радиотелеметрии. Наиболее успешно телеметрия применяется при испытании самолетов и ракет различных типов, помогая ученым и инженерам получить данные о поведении объекта в реальных условиях, чтобы определить, все ли получается так, как задумано конструкторами. Сведения, получаемые при практических испытаниях, позволяют также найти пути улучшения конструкции и выбрать направления новой стадии научно-исследовательских работ.

Совокупность приборов и устройств, обеспечивающих измерение величин, а затем передачу полученных значений из одного пункта в другой с помощью радиосредств и регистрацию там результатов, называется радиотелеметрической системой.

Одной из основных частей всякой радиотелеметрической системы является радиолиния, связывающая передающую и приемную стороны этой системы.

Передача сигналов с помощью радиоволн

Прежде чем знакомиться с принципами передачи сигналов с помощью радиосредств, рассмотрим явление, которое поможет нам разобраться в данном вопросе.

Представим себе электрическую цепь, состоящую из генератора постоянного тока, проводов и потребителя энергии электрической лампочки (рис. 15, *а*). Если провести точные измерения в такой цепи, то окажется, что электрическая энергия, выработанная генератором, полностью расходуется на нагревание проводов и накаливание нити осветительной лампочки.

Если же в эту сеть вместо генератора постоянного тока включить генератор переменного тока (рис. 15, *б*), то измерения покажут, что расходуемая на нагревание проводов и накаливание нити лампочки энергия будет меньше энергии, вырабатываемой этим генератором.

Куда же делась некоторая часть энергии? Оказывается, она излучается в пространство в виде электромагнитных волн, или, как их называют, электромагнитных колебаний. Такое явление наблюдается только в том случае, если по цепи протекает переменный ток.

Известно, что когда по проводнику протекает электрический ток, то вокруг него образуются электрическое и магнитное поля. С изменением силы и направления тока меняются величина и направление магнитного и электрического полей. Изменения одного поля вызывают изменения другого поля, и наоборот. То есть эти поля взаимозависимы и не могут существовать отдельно. Поэтому всегда говорят, что вокруг проводника с током образуется электромагнитное поле. Как только возникнет такое поле, оно начнет распространяться от места возникновения во все стороны со скоростью света подобно кругам на поверхности воды от брошенного камня.

Образование электромагнитных колебаний происходит с такой же быстротой, с какой совершаются колебания тока в проводах. Сколько раз изменится направление тока в проводе за секунду, столько же в секунду образуется электромагнитных колебаний.

В связи с этим при протекании постоянного тока по проводам энергия на излучение уходит только в момент включения линии, а дальнейших изменений тока в проводах не происходит. При небольшой частоте переменного тока — 50 *гц* количество излучаемой энергии незначительно. Вместе с тем на достаточно близком расстоянии это излучение можно обнаружить. Так, например, если к высоковольтной линии электропередачи близко поднести катушку с подключенной к ее концам мало-

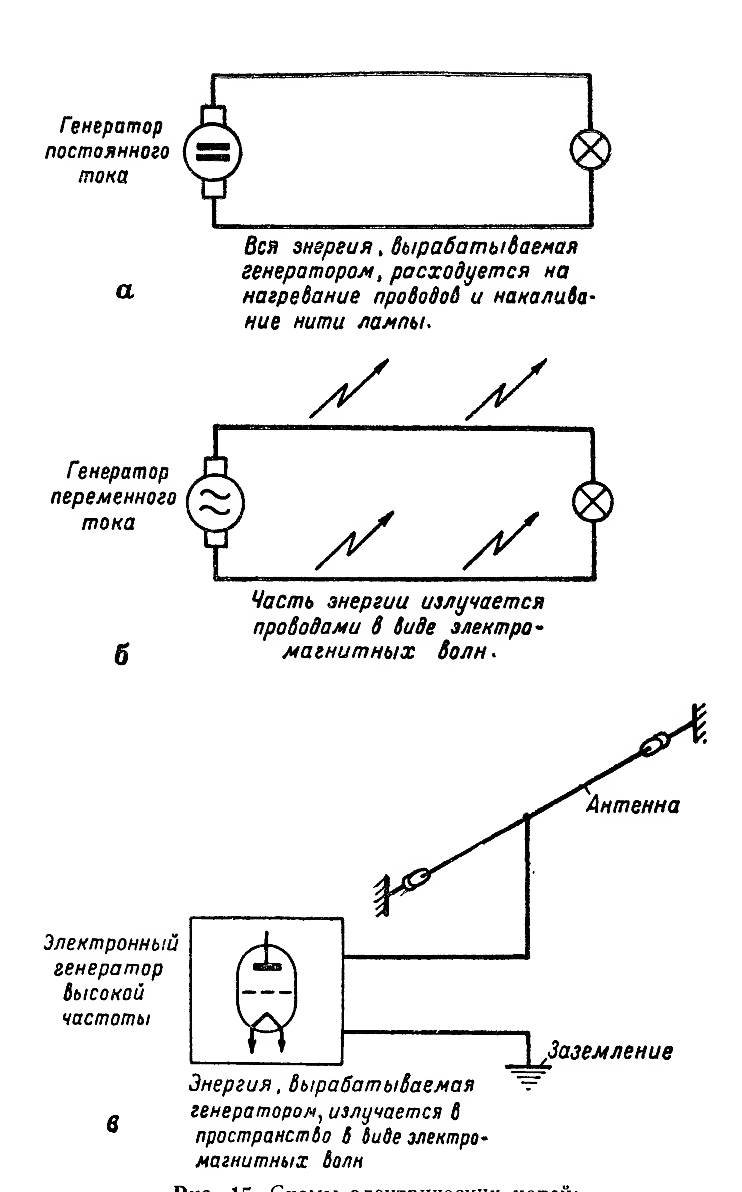


Рис. 15. Схемы электрических цепей:
а — с генератором постоянного тока; *б* — с генератором переменного тока; *в* — схема радиопередатчика

мощной электрической лампочкой, то последняя загорится. Это значит, что часть излучаемой проводами электромагнитной энергии «улавливается» катушкой. Чем больше частота переменного тока, питающего линию электропередачи, тем большая часть электрической энергии расходуется на излучение.

Предположим, что в нашем распоряжении имеется генератор переменного тока, позволяющий менять в широких пределах частоту вырабатываемого им напряжения. Включим такой генератор в рассмотренную выше электрическую цепь (рис. 15, *а*) вместо генератора постоянного тока и будем поддерживать постоянным напряжение на выходных клеммах генератора, но изменять частоту напряжения. Тогда окажется, что электрическая лампочка, включенная в конце линии передачи, с увеличением частоты будет гореть все менее ярко. Это значит, что с увеличением частоты все большая часть вырабатываемой генератором энергии будет тратиться на излучение. На зажимах лампочки напряжение будет падать несмотря на то, что на входе линии передачи оно останется неизменным.

Количество излучаемой энергии зависит не только от частоты переменного тока, но также от размеров и взаимного расположения проводов, подключенных к генератору переменного напряжения.

Устройства, специально предназначенные для генерирования и излучения электромагнитной энергии в пространство, называются радиопередатчиками. Они имеют специальные электронные генераторы, вырабатывающие переменный ток очень высокой частоты — свыше 100 000 колебаний в секунду. Колебания таких величин называют радиочастотами.

К одному из выходных зажимов электронного генератора (рис. 15, *в*) подключается провод специальной конструкции (антенна), второй зажим заземляется.

Специальная конструкция отводящих проводов обеспечивает практически почти полное излучение высокочастотной энергии, вырабатываемой генератором. Таким образом, провода антенны и заземления в радиопередатчике по сути являются линией, отводящей энергию от передатчика, и играют роль источника радиоволн.

Каждый радиопередатчик вырабатывает и с помощью антенны посылает в пространство электромаг-

нитные колебания определенной для него частоты, т. е. излучает радиоволны определенной длины. Длиной волны на поверхности воды мы называем расстояние между двумя горбами или двумя впадинами волны. На образование волны электромагнитного колебания также затрачивается время одного колебания тока в антенне. Значит, расстояние, пройденное волной за этот промежуток времени, и есть ее длина. Умножив скорость распространения волны, равную скорости света, на время одного колебания тока в антенне, мы определим длину радиоволны. Так, например, если радиопередатчик излучает один миллион колебаний в секунду, то продолжительность одного колебания будет равна одной миллионной доле секунды. При скорости распространения радиоволн 300 000 *км/сек* длина радиоволны составит 300 *м*.

Радиопередатчики работают на частотах от 100 *кгц* до 3000 *Мгц* и более, т. е. на длинах волн от 3000 *м* до 3 *см*. Радиоволны, излучаемые антенной радиопередатчика, распространяются во всех направлениях. Если на пути распространения радиоволн поместить металлический провод, то в нем наведутся быстропеременные токи. Это объясняется тем, что в этом случае проводник попадает в быстроизменяющееся электромагнитное поле, которое наводит электродвижущую силу, вызывающую соответствующий ток.

Частота изменений тока в проводе, который называют в таком случае приемной антенной, в точности соответствует частоте изменений тока в передающей антенне. Интенсивность сигнала, возникающего в приемной антенне, зависит от мощности электромагнитных колебаний, излучаемых антенной, и от расстояния между приемной и передающей антеннами.

На больших расстояниях или при небольших мощностях передатчиков токи в приемной антенне наводятся очень малые.

Если одновременно работает несколько радиопередатчиков, то от каждого из них к приемной антенне приходят электромагнитные колебания и вызывают в ней, токи, соответствующие сигналам. Как же выделить из многих сигналов сигнал нужного передатчика? Решение этой задачи основано на использовании явления резонанса в колебательных контурах, состоящих из катушки

индуктивности $L_к$ и конденсатора переменной емкости $C_к$ (рис. 16).

Колебательный контур подобно маятнику или струне обладает собственной частотой колебаний. Он может резонировать. Величина резонансной частоты зависит от величины его индуктивности, а также емкости конденсатора контура.

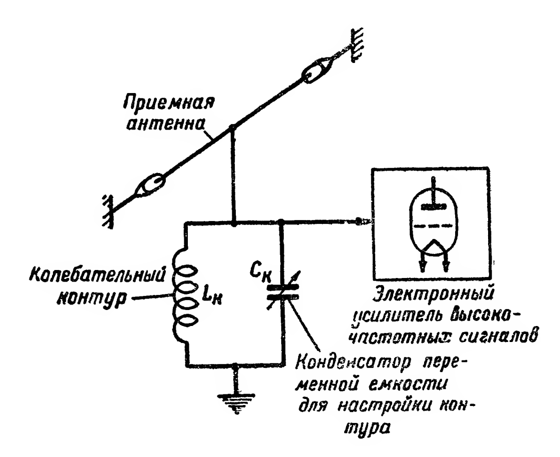


Рис. 16. Схема выделения сигнала нужного передатчика на приемной стороне

Если к колебательному контуру подвести электрические колебания, частота которых равна частоте собственных колебаний контура, то в нем возникнут значительные по амплитуде электрические колебания тока (напряжения). Если же к контуру подвести электрические колебания, частота которых не равна его собственной резонансной частоте, то в нем возникнут незначительные по величине электрические колебания.

Следовательно, если от приемной антенны подвести к колебательному контуру (рис. 16) электрические сигналы разных частот, принятых от многих передатчиков, то контур выделит («откликнется») только тот сигнал, на который он сам настроен.

Изменяя величину емкости или индуктивности контура, можно настраивать его на соответствующую ему резонансную частоту и, следовательно, выделять сигналы нужного передатчика.

Для лучшего отфильтровывания полезного сигнала от мешающих сигналов и значительного его усиления в радиоприемниках применяют не один, а несколько колебательных контуров.

Выделенные колебательными контурами сигналы оказываются очень слабыми, поэтому в приемнике они усиливаются электронными усилителями. Усилители включаются последовательно один за другим. Чем больше каскадов усиления (усилителей) в приемнике, тем больше его чувствительность, т. е. тем более слабые сигналы он способен принимать.

Принятый от передатчика обычный высокочастотный сигнал свидетельствует лишь о том, что передатчик работает. Никаких других сообщений на приемную сторону он не приносит.

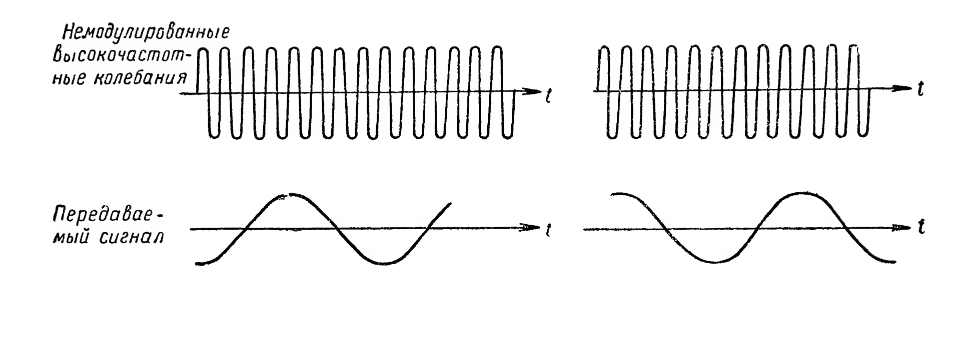
Чтобы передать по радио какие-либо сигналы, например телеграфные, речь или музыку, нужно как-то изменять высокочастотные колебания передатчика в соответствии с передаваемыми сигналами. Процесс изменения высокочастотных колебаний в передатчике в соответствии с передаваемыми сигналами называют **модуляцией** высокочастотных колебаний.

Для осуществления модуляции высокочастотных колебаний можно изменять амплитуду, частоту или фазу колебаний в передатчике. Эти изменения называются соответственно амплитудной (рис. 17, *а*), частотной (рис. 17, *б*) или фазовой модуляцией.

Фазовая модуляция есть разновидность частотной модуляции (при фазовой модуляции происходит очень малое изменение частоты).

Таким образом, высокочастотные колебания сами по себе являются лишь средством для передачи необходимых сигналов, т. е. носителем полезного сигнала.

Простейшим примером амплитудной модуляции является передача телеграфных сигналов с помощью азбуки Морзе. Осуществить это можно, включив телеграфный ключ, например, в разрыв провода, соединяющего антенну с передатчиком (рис. 18). В соответствии с передаваемыми сигналами нажатием ключа в антенну будут посылаться высокочастотные колебания в течение нужных отрезков времени и требуемой последовательности.



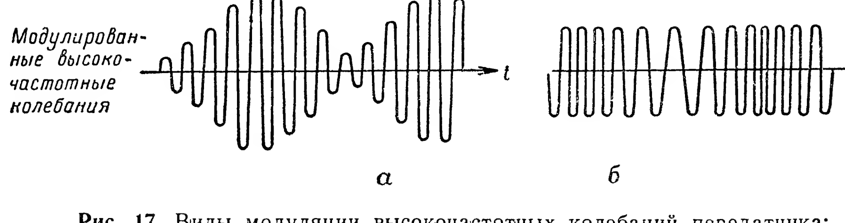


Рис. 17. Виды модуляции высокочастотных колебаний передатчика:
а — амплитудная; *б* — частотная

На практике телеграфный ключ не включается в разрыв провода, соединяющего антенну с передатчиком. Обычно ключом режим передатчика изменяется так, что при нажатом ключе передатчик генерирует высокочастотные колебания, а при отжатом — передатчик не работает.

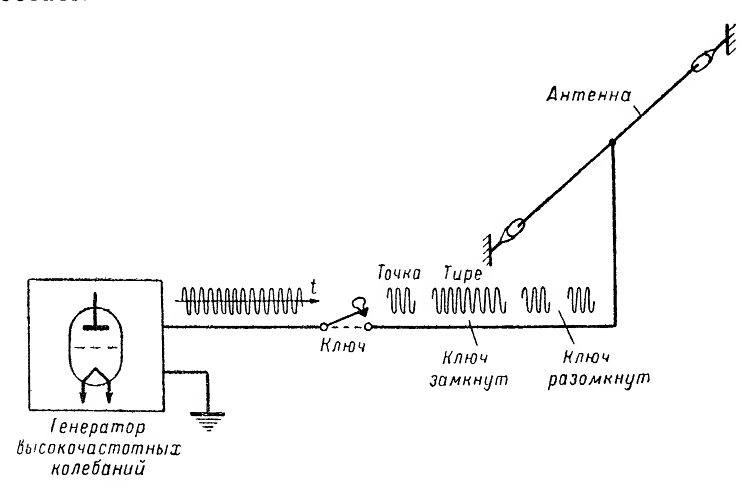


Рис. 18. Схема передачи телеграфных сигналов

Схема радиопередатчика значительно усложняется, если он предназначается для передачи сигналов музыки или человеческой речи. Упрощенная схема такого радиопередатчика с амплитудной модуляцией приведена на рис. 19.

Когда говорит человек или играет оркестр, возникают колебания воздуха небольшой частоты (100—10 000 колебаний в секунду), которые воздействуют на микрофон, преобразующий их в электрические колебания. Частота электрических колебаний соответствует частоте звука, а амплитуда — его силе.

Звуковые (низкочастотные) колебания с выхода микрофона усиливаются в ламповом усилителе и поступают затем в передатчик, где в специальном устройстве под их воздействием изменяется амплитуда вырабатываемых высокочастотных сигналов. Чем громче звук перед микрофоном, тем значительнее размах высокочастотных сигналов, поступающих в антенну, тем громче этот

сигнал будет воспроизведен в телефонах или громкоговорителе приемной станции.

Сам передатчик состоит из задающего генератора, в котором непрерывно генерируются высокочастотные сигналы постоянной амплитуды, и выходного усили-

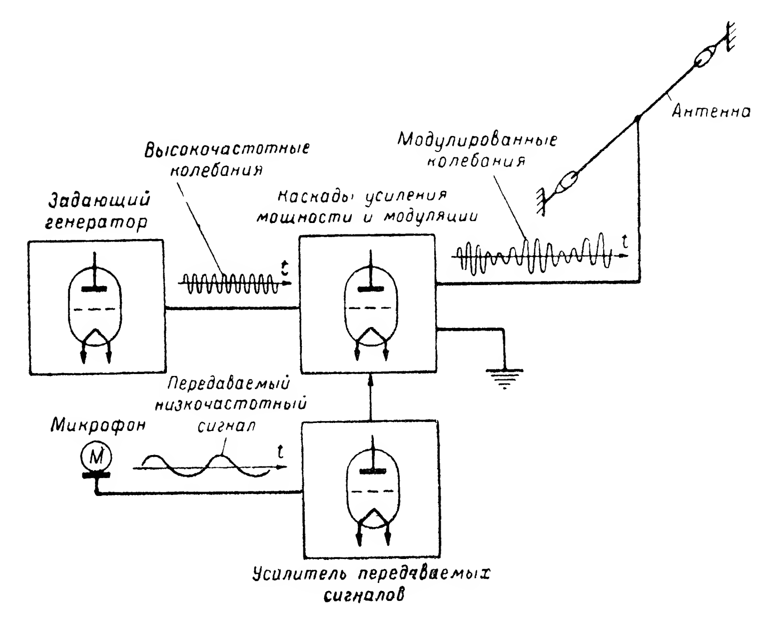


Рис. 19. Схема передачи звуковых сигналов

тельного каскада, или, как говорят, каскада усиления мощности. Амплитудная модуляция производится в выходном каскаде передатчика.

В приемнике (рис. 20) после выделения и усиления высокочастотные сигналы поступают на один из важнейших каскадов приемника — детекторный каскад, который выделяет передаваемый полезный сигнал. Высокочастотные же колебания, сослужившие службу носителя, отфильтровываются.

Выделенные звуковые сигналы после усиления в усилителе низкой частоты поступают в телефонные трубки или громкоговоритель, где осуществляется обратное преобразование электрических колебаний в звуковые. Так завершается процесс радиопередачи сигналов.

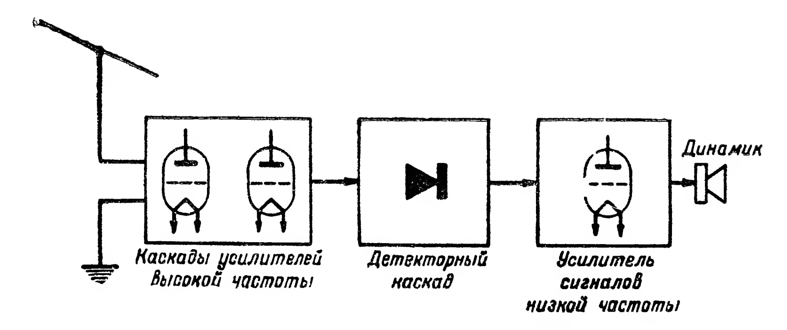


Рис. 20. Схема радиоприемника

Передача телеметрических сигналов с помощью радиоволн

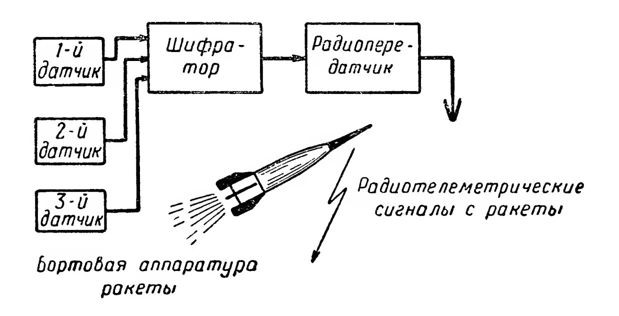
Как же приспособить радиолинию для передачи сигналов телеизмерений?

Как уже говорилось, перед передачей по радио звуковых сигналов их необходимо предварительно преобразовать в электрические с помощью микрофона. Аналогичным образом, очевидно, надо поступить и в том случае, если требуется передать по радиолинии некоторую неэлектрическую величину. В этом случае измеряемую величину нужно также преобразовать в электрическую, а затем передать ее на приемный пункт радиотелеметрической системы так же, как это делается при передаче звуковых сигналов.

На рис. 21 приведена упрощенная функциональная схема радиотелеметрической системы для испытания ракет. Назначение всякой радиотелеметрической системы сводится к измерению и передаче телеметрируемых величин на приемный пункт этой системы. Важнейшей составной частью такой системы является устройство, измеряющее и преобразующее передаваемую неэлектрическую величину в электрическую. Это преобразование, как мы знаем, осуществляют датчики. Датчики, применяемые в радиотелеметрических системах, по принципу действия могут быть такие же, как и датчики проводных телеметрических систем.

Выходной сигнал датчика поступает в шифратор — устройство, в котором сигналы всех датчиков суммируются, преобразуются и где им придаются дополнитель-

ные качественные признаки. По этим признакам они распределяются на приемной стороне по соответствующим каналам. От шифратора сигнал подается в передатчик и модулирует там высокочастотные колебания.



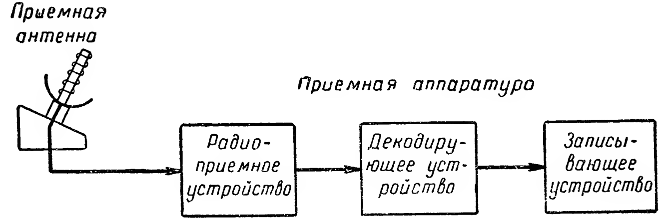


Рис. 21. Упрощенная схема радиотелеметрической системы для испытания ракет

Как и при передаче звуковых сигналов, в телеметрических передатчиках применяется амплитудная и частотная модуляция. Модулированные высокочастотные сигналы (содержащие информацию об измеряемых величинах) излучаются в пространство с помощью передающей антенны. Обычно это одна из частей (киль, носовая часть и т. д.) ракеты, электрически изолированная от остальной ее конструкции, или же штырь, укрепленный в носовой или хвостовой части.

Радиосигналы, излучаемые в пространство, принимаются антенной приемного устройства данной телеметрической системы. Обычно приемные антенны телеметрических систем делаются остронаправленными, то есть способными принимать радиосигналы в небольшом угле пространства. Это позволяет значительно увеличить

дальность приема и избавиться от посторонних сигналов.

В приемнике осуществляются усиление принятых сигналов, а затем детектирование. На выходе детекторного каскада образуются сигналы, аналогичные тем, которые поступали с шифратора в передатчик.

Выходные сигналы детекторного каскада подаются в дешифратор, где они разделяются по каналам и преобразуются, чтобы их можно было зарегистрировать (записать). Разделение сигналов происходит на основании тех качественных признаков, которые были им приданы в шифраторе передающей части.

Принятые и выделенные телеметрические сигналы регистрируются на магнитной ленте, фотобумаге или фотопленке, а также на различного рода табло и стрелочными приборами.

По принципу действия радиотелеметрическая система не отличается от радиолинии для передачи звуковых сигналов. В конструктивном же отношении это различие весьма существенно, так как требования, предъявляемые к элементам и системе в целом, иные, чем в случае приема звука. Особенно это относится к передающей части систем.

Передающие устройства телеметрических систем, используемых для испытания ракет и других летательных аппаратов, должны быть компактны, прочны и надежны в работе. Передатчик должен быть построен так, чтобы генерируемые им колебания не изменялись по частоте или амплитуде при различного рода вибрациях, тряске, колебаниях температуры.

Для предохранения от перегрева деталей передатчика и улучшения температурной стабильности его работы применяется воздушно-принудительное охлаждение. Иногда вся аппаратура передатчика помещается в масло, что улучшает рассеивание тепла. Для излучения электромагнитной энергии высокочастотных колебаний от передатчика нужна хорошая высокоэффективная антенна. Применить такую антенну на испытуемой ракете во многих случаях невозможно. Практически в качестве антенны используется штыревой излучатель или щель, заделанная заподлицо с обшивкой.

Дальность действия телеметрической системы зависит в основном от трех факторов: мощности радиопере-

датчика, качества передающей и приемной антенн и от чувствительности приемника.

Возможности увеличения мощности передатчика и качества передающей антенны ограничены из-за того, что на испытуемой ракете не всегда можно разместить мощный передатчик и антенну больших размеров. В таких случаях стремятся увеличить дальность действия телеметрической системы за счет улучшения (увеличения размеров) приемной антенны и повышения чувствительности приемника.

Приемная антенна должна также обеспечивать уверенный прием сигналов от ракеты при ее кренах и вращении вокруг своего центра тяжести.

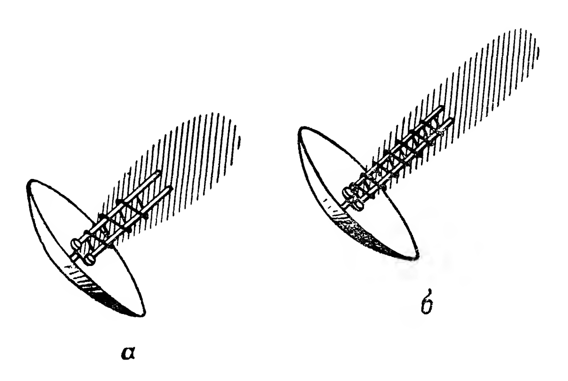


Рис. 22. Приемные спиральные антенны:
а — с тремя витками, *б* — с семью витками

Указанные требования к приемным антеннам телеметрических систем сравнительно легко выполнимы, поскольку эти антенны размещаются на земле, где вопросы веса и габаритов не являются определяющими. Считается, что наиболее полно предъявляемым требованиям отвечают так называемые спиральные антенны.

На рис. 22 показаны схемы двух спиральных антенн: одна из них имеет три с половиной, а другая — семь витков спирали. С изменением числа витков в спирали антенны меняется ее коэффициент усиления, или, как его иначе называют, коэффициент направленности.

С увеличением направленности приемной антенны становится возможным прием более слабых сигналов.

Однако при этом возрастают трудности слежения за сигналами, идущими с быстролетящей ракеты.

Особенностью приемников телеметрических систем является то, что они имеют высокую чувствительность.

При испытании различных ракет и других летательных аппаратов требуется измерять много величин. Основными из них являются: воздушная скорость и высота полета, аэродинамические коэффициенты при различных режимах полета, температурные условия, влажность и давление окружающей среды, вибрации и напряжения в различных частях конструкции ракеты, положение органов управления и многие другие величины.

Если по радиотелеметрической системе передаются измерения только одной величины, то такая система принципиально не будет отличаться от радиолинии для передачи звуковых сигналов. Единственным отличием может быть только то, что в качестве микрофона здесь используется датчик, преобразующий измеряемую неэлектрическую величину в электрическую. А как быть, если необходимо получить результаты многих различных измерений, например двадцати или более?

Строить для передачи каждой величины линию, используя свой передатчик и свой радиоприемник, нецелесообразно.

В настоящее время известны и используются несколько методов, позволяющих передавать различные не связанные между собой сигналы по одной радиолинии, т. е. с помощью одного передатчика и одного приемника.

Радиолиния, которая обеспечивает передачу на одной радиоволне (на одной несущей частоте) несколько независимых сигналов, называется многоканальной. По многоканальной радиолинии могут вести переговоры несколько пар корреспондентов (столько же, сколько в радиолинии каналов) или передавать при несложной реконструкции линии столько же различных телеметрических сигналов.

Передача по одному «радиопроводу» нескольких разных сигналов

По аналогии с телефонной и телеграфной связью мы можем рассматривать радиолинию как некий «радиопровод», по которому передаются сигналы на приемную сторону.

Какие же методы используются для разделения принятых сигналов, или, как часто говорят, разделения каналов радиолинии на приемной стороне?

В настоящее время широко используются два таких метода: временной и частотный.

Временное разделение каналов

Сущность временного метода разделения каналов заключается в том, что для передачи сигналов каждому каналу радиолинии предоставляется поочередно короткий интервал времени. Когда заканчивается передача по последнему каналу, радиолиния снова предоставляется первому каналу и т. д. В результате по каждому из каналов сигналы передаются прерывисто (дискретно).

На рис. 23 приведена упрощенная схема, иллюстрирующая принцип работы многоканальной радиолинии с временным разделением каналов.

Важной частью передающего устройства такой радиолинии является коммутатор $К_{прд}$. Он представляет собой диск из изоляционного материала, на котором по кругу размещен ряд неподвижных контактных пластин, по которым движется контакт-щетка. К каждой из неподвижных пластин подводится выходное напряжение от датчиков $Д_1$, $Д_2$, ..., преобразующих измеряемые величины в электрические сигналы (напряжение). Щетка скользит по неподвижным пластинам коммутатора, снимает с них поочередно напряжения, которые и подводит к передатчику. Высокочастотные колебания передатчика модулируются этим напряжением и излучаются антенной.

На приемной стороне радиолинии на выходе радиоприемника включается распределительное устройство $К_{прм}$, аналогичное по принципу действия коммутатору передающей части. Подвижный контакт приемного распределительного устройства должен перемещаться по неподвижным ламелям в такой же последовательности (синхронно), как и подвижный контакт коммутатора передающей стороны. Это значит, что при подаче на передатчик сигнала от первого датчика (щетка на первой неподвижной ламели передающего коммутатора) подвижный контакт распределителя приемной стороны должен также находиться на первой неподвижной ламели. В этом случае принимаемый сигнал с выхода при-

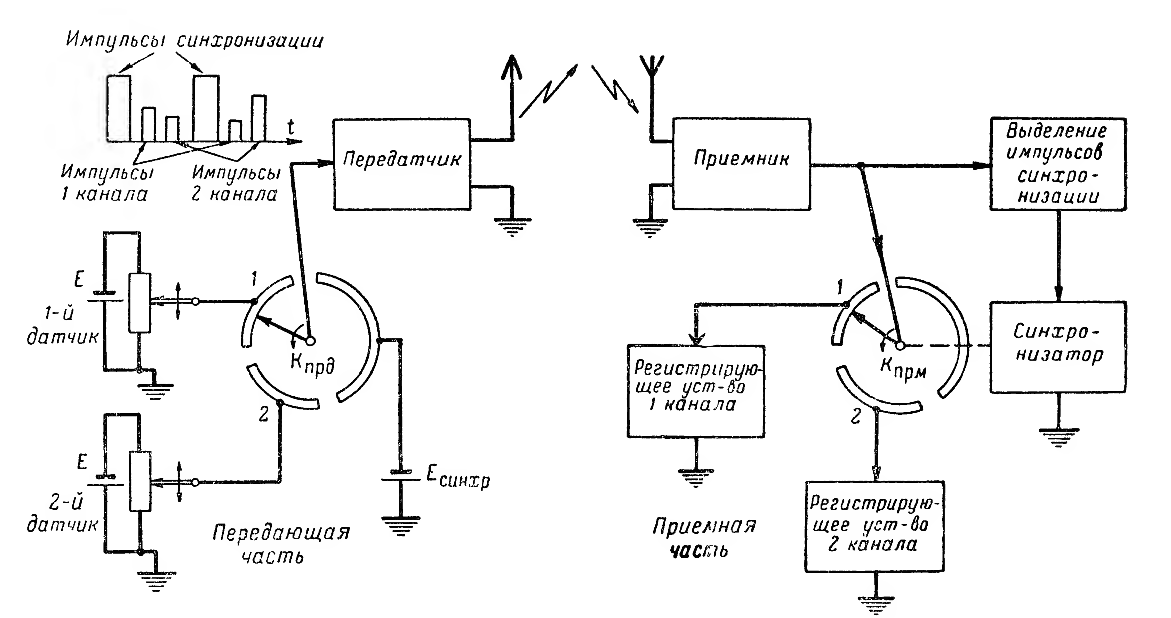


Рис. 23. Упрощенная схема многоканальной радиолинии с временным разделением каналов

емника будет подаваться через распределитель в регистрирующее устройство первого канала.

При перемещении щетки передающего коммутатора на вторую неподвижную ламель подвижный контакт приемного распределителя должен переместиться также на вторую ламель и подвести сигнал к регистрирующему устройству второго канала.

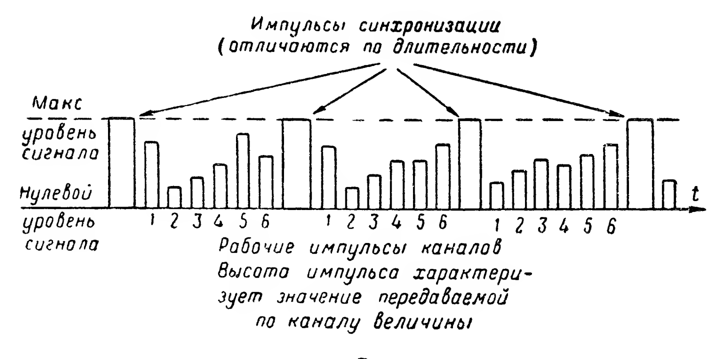
Чтобы обеспечить такую согласованную (синхронную) работу распределительных устройств передающей и приемной сторон, в радиолинии выделяется один канал, по которому за каждый оборот подвижного контакта передающего коммутатора посылается специальный синхронизирующий сигнал. Этот сигнал снимается с одной из неподвижных ламелей коммутатора. Сигнал синхронизации отличается от сигналов телеизмерений, передаваемых по другим каналам, каким-нибудь признаком, например по длительности (рис. 24, *а*, за счет увеличения длины неподвижной ламели) или амплитуде (рис. 24, *б*, за счет увеличения напряжения, прикладываемого к ламели синхронизации).

Отличительный признак сигнала синхронизации позволяет выделить его на приемной стороне и использовать при распределении сигналов.

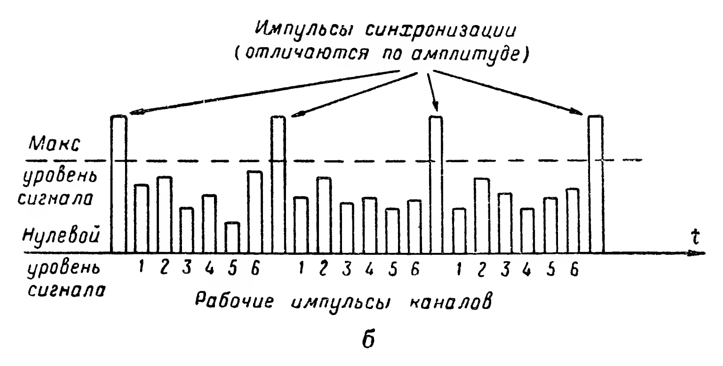
Для выделения сигнала синхронизации на приемной стороне радиотелеметрической системы с временны́м распределением имеется специальное устройство, выходные сигналы которого подаются в синхронизатор, управляющий вращением щетки приемного распределителя.

В качестве коммутирующих устройств передающей и приемной сторон многоканальных радиолиний с временны́м распределением каналов используются как электромеханические, так и электронные устройства. Подвижный контакт электромеханического коммутатора приводится во вращение электромотором. Электронные коммутаторы не имеют механических распределительных устройств. Принцип распределения сигналов по каналам с помощью электронных коммутаторов основан на задержке сигнала каждого последующего канала относительно сигнала предыдущего канала на определенное время. Электронные коммутаторы представляют собой достаточно сложные устройства с большим количеством электронных ламп.

Если радиотелеметрическая система предназначается для передачи сигналов медленно изменяющихся величин, то скорость коммутации каналов (скорость вращения



а



б

Рис. 24. Сигналы на выходе дешифратора в радиолинии с временны́м разделением каналов:

а — импульсы синхронизации отличаются от импульсов сигнала по длительности; *б* — импульсы синхронизации отличаются от импульсов сигнала по амплитуде

подвижного контакта передающего коммутатора) выбирается небольшой (50—100 *гц*). При этом на передающей стороне чаще применяется электромеханический коммутатор, а на приемной — электронные распределители.

Механические распределительные устройства на приемной стороне применяются реже, так как они плохо синхронизируются внешними импульсами.

Если измеряемые величины изменяются со временем быстро (например, вибрации корпуса ракеты), то и частота коммутации должна быть большой (десятки тысяч герц). В противном случае измерение таких величин будет неправильным.

При большой частоте коммутации на передающей и приемной сторонах используются только электронные коммутаторы.

Частотное разделение каналов

Сущность частотного метода разделения каналов в многоканальной радиолинии заключается в том, что напряжение несущей частоты передатчика модулируется вспомогательными, так называемыми поднесущими колебаниями. Для каждого канала выбирается своя определенная частота таких колебаний. Каждая поднесущая частота модулируется передаваемым по соответствующему каналу сигналом.

В приемнике несущая, т. е. высокая, частота отфильтровывается, а смесь сигналов поднесущих колебаний, полученная в результате детектирования, подается на особые разделительные (селективные) фильтры, которые разделяют сигналы разных частот по соответствующим каналам. После этого в каждом канале производится демодуляция поднесущих колебаний. Это значит, что из поднесущих колебаний путем вторичного детектирования выделяются передаваемые сигналы измерений.

Поясним принцип действия многоканальной радиолинии с частотным разделением каналов с помощью упрощенной схемы, приведенной на рис. 25.

Для простоты предположим, что в рассматриваемой радиолинии имеется всего три канала.

Важной составной частью передающего устройства телеметрической системы в этом случае будет блок генераторов поднесущих колебаний. Каждый из генераторов этого блока вырабатывает синусоидальные колебания определенной частоты. В нашем случае это будут частоты: $F_1 = 400$ *гц*, $F_2 = 560$ *гц*, $F_3 = 730$ *гц*. Сигналы с выходов датчиков воздействуют на колебания поднесущих частот и модулируют их по амплитуде или частоте. Это значит, что с изменением измеряемых вели-

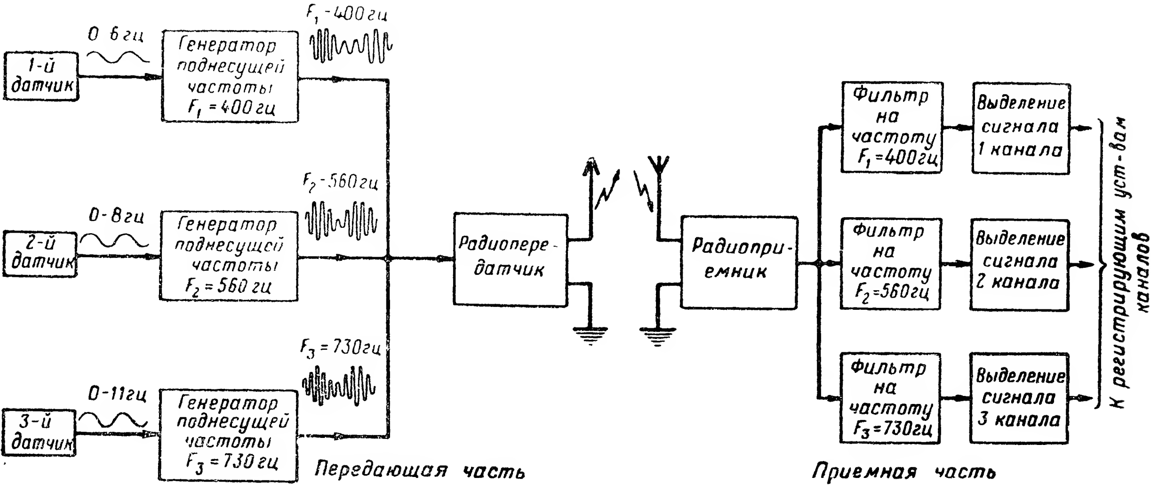


Рис. 25. Упрощенная схема радиолинии с частотным разделением каналов

чин меняется соответственно при амплитудной модуляции размах поднесущих колебаний, а при частотной модуляции — их частота. Для наглядности на рис. 25 изображена модуляция поднесущих колебаний по амплитуде. Выходные сигналы всех генераторов поднесущих смешиваются на входе передатчика и модулируют его высокочастотные колебания также по частоте или по амплитуде. Каждый генератор своим сигналом, отличным по частоте, независимо от других генераторов модулирует передатчик. В результате выходной сигнал передатчика получается очень сложным, с двойной модуляцией.

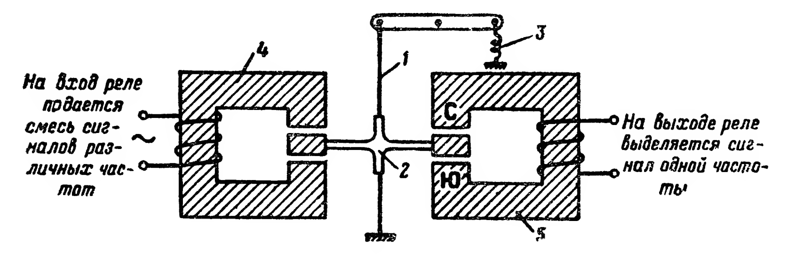


Рис. 26. Струнное резонансное реле.
1 — струна; *2* — якорь, *3* — пружина; *4*, *5* — электромагниты

Важнейшей составной частью приемной установки многоканальной радиолинии с частотной селекцией являются разделительные фильтры. Обычно в качестве таких фильтров используются резонансные устройства различных типов, способные реагировать только на сигналы определенной частоты, на которую они настроены. Это могут быть электрические колебательные контуры, образованные из индуктивности и емкости, а также различные механические резонирующие системы. В качестве примера механической резонирующей системы рассмотрим работу струнного электромагнитного реле (рис. 26).

Струнное реле — бесконтактное механическое резонансное устройство. Резонансная частота этого реле определяется упругостью струны *1* и массой якоря *2*, прикрепленного к ней. С помощью пружины *3* упругость струны может изменяться, следовательно, будет меняться и резонансная частота реле. Если частота тока в обмотке электромагнита *4* совпадет с частотой струнного

вибратора, то последний начнет колебаться. Перемещение якоря в поле постоянного магнита *5* вызовет изменение магнитного потока, а следовательно, и появление переменного напряжения на выходной обмотке реле. Величина этого напряжения будет зависеть от амплитуды поднесущего колебания, поступившего на вход реле.

Если входы нескольких таких реле, настроенных на нужные частоты, подключить на выход приемника, то можно разделить сигналы поднесущих частот по своим каналам. Наибольшее распространение в радиотелеметрических радиолиниях с частотным разделением каналов нашли электрические фильтры с контурами из индуктивности и емкости. С выхода разделительных фильтров сигналы поднесущих частот поступают в демодуляторы, где выделяются передаваемые сигналы измерений.

В качестве демодуляторов используются амплитудные детекторы, если поднесущие колебания модулировались на передающей стороне по амплитуде. Когда поднесущие колебания модулированы по частоте, применяются частотные детекторы. В амплитудном и частотном детекторах отфильтровываются сигналы поднесущих частот и выделяется модулирующий сигнал, то есть тот сигнал, который поступал с датчиков в генераторы поднесущих колебаний передающей стороны. Выделенные сигналы регистрируются.

Сравнивая преимущества и недостатки временно́го и частотного методов разделения каналов, можно сделать некоторые выводы.

Временно́й метод разделения сигналов позволяет создавать радиолинии с большим числом каналов (до 100 и более). Аппаратура передающей части, особенно если используется электромеханический коммутатор, получается достаточно простой и малогабаритной.

Вместе с тем если в радиолинии используется временной метод распределения каналов, то по ней нельзя передавать быстроизменяющиеся сигналы, так как они будут воспроизведены на приемной стороне с недопустимыми искажениями.

При частотном разделении радиолиния не может быть сконструирована больше чем на 10—15 каналов. С увеличением числа каналов возрастают взаимные помехи между каналами, которые существенно искажают

передаваемые сигналы. Взаимное влияние каналов объясняется тем, что при модуляции поднесущих колебаний передаваемыми сигналами измерений образуются так называемые комбинационные частоты, которые «пролезают» в другие каналы.

Чем больше каналов, тем больше комбинационных частот и тем, следовательно, больше искажения передаваемых сигналов. Однако по радиолиниям с частотным разделением каналов могут передаваться быстроизменяющиеся сигналы. В этом основное преимущество таких многоканальных радиолиний.

Особенности радиотехнических систем для испытания ракет с большой дальностью полета

По сообщению иностранной печати, при испытаниях баллистических ракет с большой дальностью полета может оказаться, что используемая при этом обычная телеметрическая система не в состоянии обеспечить на всей трассе полета ракеты дистанционное измерение телеметрируемых параметров. Это может произойти по двум причинам. Первая из них заключается в том, что дальность действия телеметрической системы меньше дальности полета баллистической ракеты. Вторая причина состоит в том, что при своем движении по траектории баллистическая ракета из-за сферичности поверхности земли выходит из зоны геометрической видимости. В результате связь между приемным пунктом телеметрической системы, расположенным на земле, и передающей частью, установленной на ракете, нарушается.

Когда дальность действия телеметрической системы недостаточна, ее можно увеличить путем увеличения мощности передатчика, чувствительности приемника и направленности антенн и таким образом обеспечить дистанционное телеметрирование. Однако при нарушении геометрической видимости между передающим и приемным устройствами телеметрической системы указанными средствами задача не может быть решена. В этом случае для обеспечения телеметрирования величин на всей траектории полета ракеты используется несколько приемных устройств (рис. 27), располагаемых на поверхности земли (моря) по трассе полета. Расстояние между соседними приемными телеметрическими пунктами

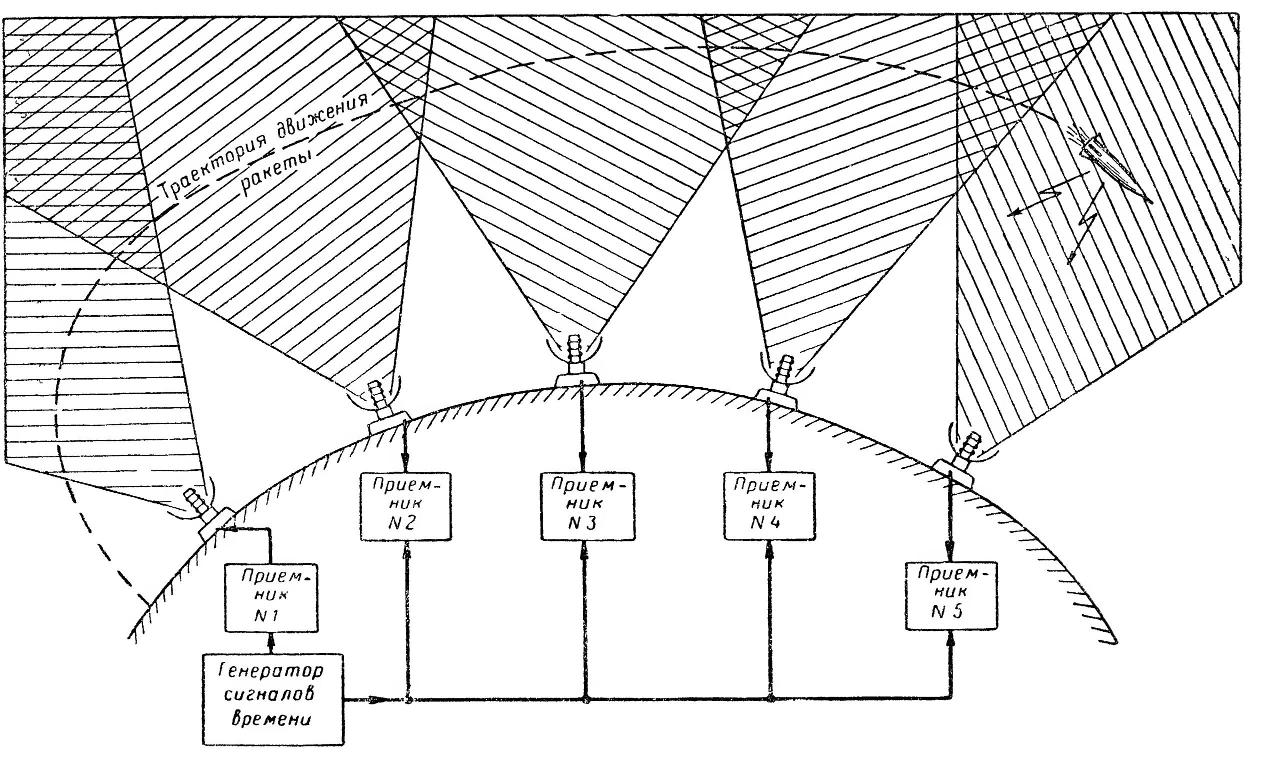


Рис. 27. Схема радиотелеметрической системы с несколькими приемными установками

выбирается из условия обеспечения непрерывной связи с передающей установкой ракеты при полете ее в зоне действия этих приемных устройств. Для увеличения надежности связи и обеспечения непрерывности телеметрических измерений зоны действия соседних приемных станций должны частично перекрываться. Зона действия каждой приемной станции зависит, с одной стороны, от параметров траектории движения ракеты, и с другой — от диаграммы направленности приемной и передающей антенн, мощности передатчика и чувствительности приемника.

Общее число приемных станций, устанавливаемых по трассе полета, определяется дальностью полета ракеты.

На все приемные станции подаются единые сигналы времени, называемые сигналами единого времени (СЕВ), которые регистрируются вместе с принятой телеметрической информацией. За счет этого записи на каждой из приемных станций объединяются в единую запись измеряемых параметров за все время полета ракеты. Таким образом, сигналы единого времени объединяют разрозненные приемные установки в единую систему.

Описанная телеметрическая система с несколькими приемными установками достаточно сложна в обслуживании и эксплуатации. Затруднен сбор и дешифрирование полученных записей.

По сообщению иностранной печати, при испытании баллистических ракет применяются телеметрические системы, приемные установки которых располагаются на самолете, сопровождающем ракету при ее полете. За некоторое время до старта ракеты самолет с приемной установкой телеметрической системы поднимается в воздух и удаляется в сторону предполагаемого пути следования ракеты. К моменту старта самолет удаляется настолько, что при пуске ракеты может принимать сигналы передатчика телеметрической системы с борта ракеты (рис. 28). Скорость, высота и дальность полета самолета выбираются так, чтобы при использовании следящей приемной антенны можно было обеспечить непрерывное измерение телеметрируемых параметров в течение всего времени полета ракеты.

В результате приема и регистрации телеметрических сигналов приемной аппаратурой, установленной на са-

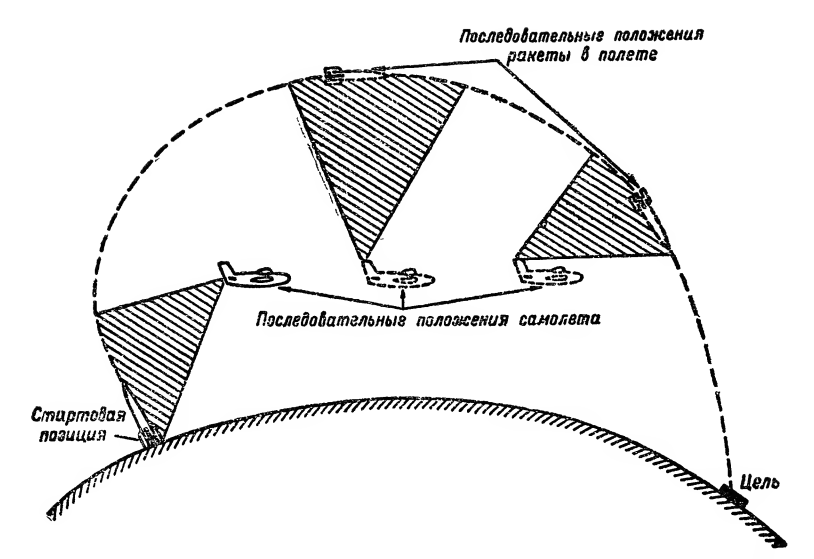


Рис. 28. Схема радиотелеметрической системы с расположением приемной установки на самолете

молете, получается непрерывная запись исследуемых параметров, которую можно дешифрировать непосредственно на самолете или быстро доставить в нужное место.

III. ЗАПИСЬ И ДЕШИФРИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ РАДИОТЕЛЕИЗМЕРЕНИЙ

Запись телеметрических сигналов

Принятые телеметрические сигналы регистрируются на приемном пункте для того, чтобы после тщательного дешифрирования записей можно было проанализировать изменение телеметрируемых величин во времени.

Запись телеметрических сигналов может быть двух видов: для сохранения (запоминания) данных и для просмотра. Запись для запоминания делается в случае ее автоматического дешифрирования в электронной вычислительной машине. Кроме того, такой вид записи применяется при транспортировке данных на другую станцию. Последний случай применяется в системах с несколькими наземными приемными установками, расположенными на земле по трассе полета испытуемого объекта, или когда приемная телеметрическая установка находится на самолете.

Запись для запоминания обычно производится в форме, недоступной для просмотра, например, на магнитной ленте или другом виде магнитного носителя сигналов (магнитные барабаны, листы и т. п.).

Запись для просмотра производится обычно на фотопленке или бумаге. Как правило, такой вид записи является дополнительным, если параллельно произведена запись для запоминания.

Вместе с тем пока еще используется много телеметрических систем, в которых запись на фотопленку является единственной и поэтому основной.

При испытании ракет и искусственных спутников Земли, когда данные, получаемые посредством телемет-

рических систем, должны быть использованы для управления этими же испытуемыми объектами, дешифрирование и обработка телеметрических данных ведутся одновременно с приемом сигналов. Системы запоминания в таких случаях не используются.

Устройства магнитной записи

За последние годы наиболее распространенным видом записи электрических сигналов с целью их запоминания стала магнитная запись, имеющая ряд преимуществ перед другими видами регистрации сигналов.

Эти преимущества следующие:

— не требуется фотохимической или другой обработки после записи;

— магнитный носитель (пленка) несветочувствителен, и, следовательно, отпадает необходимость в специальной его упаковке и затемненных помещениях;

— записанные сигналы могут быть немедленно воспроизведены даже в процессе самой записи (с очень малым запаздыванием);

— воспроизведение магнитной записи происходит в виде электрических сигналов, которые удобны для использования в различных электровычислительных устройствах систем дешифрирования и обработки данных.

Общая схема магнитной записи электрических сигналов показана на рис. 29, *а*.

Магнитная лента проходит через локализованное в пространстве магнитное поле записывающей головки. По обмотке этой головки протекает ток записываемого сигнала, поэтому напряженность магнитного поля в зазоре магнитопровода головки, перед которым перемещается лента, оказывается пропорциональной величине сигнала.

Остаточное намагничивание ленты сохраняется и после выхода ее из зоны действия головки. Распределение остаточного намагничивания вдоль длины ленты оказывается пропорциональным распределению записываемого электрического сигнала во времени. Процесс воспроизведения электрических сигналов с магнитной ленты является обратным по отношению к процессу записи. Каждый из намагниченных участков магнитной ленты, войдя в воспроизводящую головку, возбуждает в

сердечнике этой головки магнитный поток. Изменение потока в сердечнике головки вызывает появление в обмотке, охватывающей сердечник, электродвижущей силы.

Стирание ненужной магнитной записи может быть осуществлено с помощью специальной головки стирания, которая питается от специального генератора сиг-

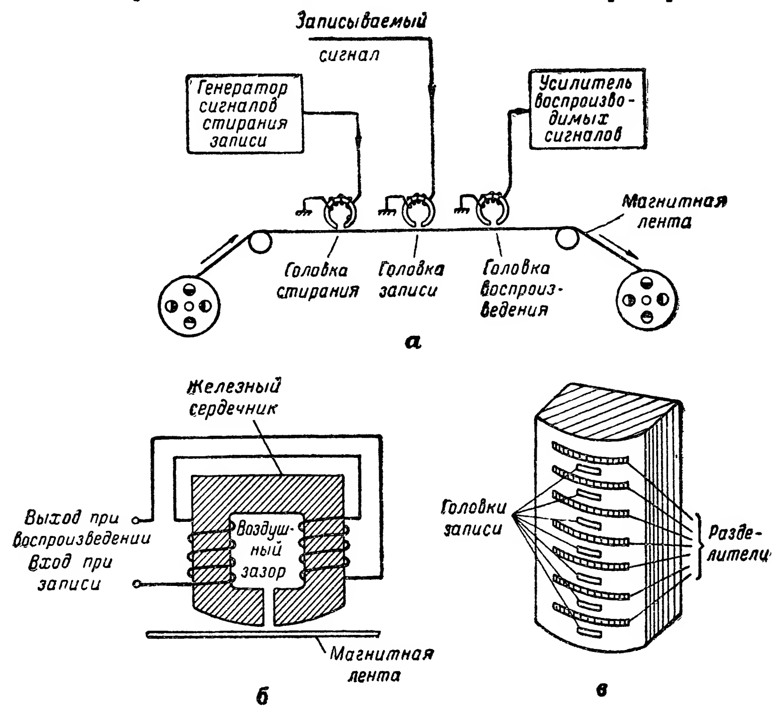


Рис. 29. Схема магнитной записи и магнитные головки:
а — общая схема; *б* — схема головки; *в* — многодорожечная головка

налами синусоидального напряжения частоты значительно более высокой, чем частота записанного сигнала.

Магнитные записывающие и воспроизводящие головки имеют различную конструкцию. Наибольшее распространение получили головки, имеющие сердечник, выполненный из материала с высокой магнитной проницаемостью (ферромагнитные) и охваченный обмоткой (рис. 29, *б*).

В радиотелеметрических системах для магнитной записи и воспроизведения сигналов применяются многодорожечные головки (рис. 29, *в*).

Для магнитной записи применяется магнитная пленка, которая изготовляется в виде ленты из поливинилхлорида, смешанного с магнитным порошком, представляющим собой кислородное соединение железа (Fe_2O_3; Fe_3O_4 и др.). Для придания ленте эластичности в изготовленную смесь вводят специальные добавки (пластификаторы). Толщина магнитной ленты составляет 50—60 *мкм*.

Магнитная лента в записывающих и воспроизводящих устройствах движется с помощью лентопротяжных механизмов, которые должны обеспечивать высокое постоянство скорости, так как неравномерность движения магнитной ленты вызывает искажение сигналов при их воспроизведении.

Требуемое постоянство скорости движения ленты и ее натяжение могут быть обеспечены при помощи электронной системы стабилизации с использованием специальных механизмов, автоматически поддерживающих постоянство скорости движения ленты.

Помимо устройств, стабилизирующих движение магнитной ленты, для устранения ошибок, вносимых в воспроизводимый сигнал за счет непостоянства скорости движения ленты, применяются специальные электронные компенсирующие цепи.

Осциллографическая запись

Кроме магнитной записи, широко применяется так называемая осциллографическая запись.

Осциллографическая запись сигнала может быть в виде линий, длина которых пропорциональна отдельным (дискретным) значениям регистрируемой величины, в виде кривой, состоящей из отдельных точек, и в виде непрерывной кривой (рис. 30).

Известно много методов осциллографической записи сигналов. Некоторые из них будут кратко рассмотрены ниже.

Аппаратура, при помощи которой осуществляется осциллографическая запись сигналов, состоит из трех основных частей:

— индикаторного устройства, преобразующего изменение величины регистрируемых электрических сигналов в отклонения записывающего элемента (приспособления);

— непрерывно вращающейся катушки с фотолентой или фотобумагой;

— приводного двигателя для вращения катушки.

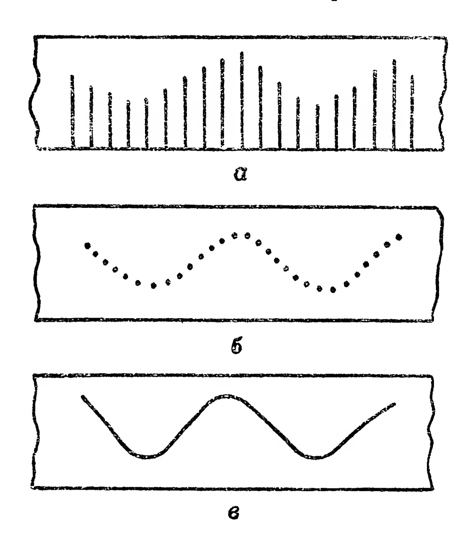


Рис. 30. Виды записей телеметрических сигналов:

а — запись в виде дискретных значений; *б* — точечная запись; *в* — запись в виде непрерывной кривой

Записывающий прибор часто называют самописцем или осциллографом.

Самописец оценивается наивысшей частотой сигнала, которая может им записываться.

Скорость движения ленты подбирается такой, чтобы при анализе записи можно было заметить все изменения зарегистрированного сигнала.

При медленном движении ленты записанный сигнал трудно расшифровать, так как кривая записи имеет вид нагромождения большого количества линий и оказывается сильно сжатой по оси времени (в направлении движения ленты).

На рис. 31 представлены две записи одного и того же сигнала при малой и нормальной скоростях перемещения ленты относительно записывающего элемента.

При большой (нормальной) скорости движения ленты увеличивается ее расход. Однако на это приходится идти при записи быстроизменяющихся по величине сигналов.

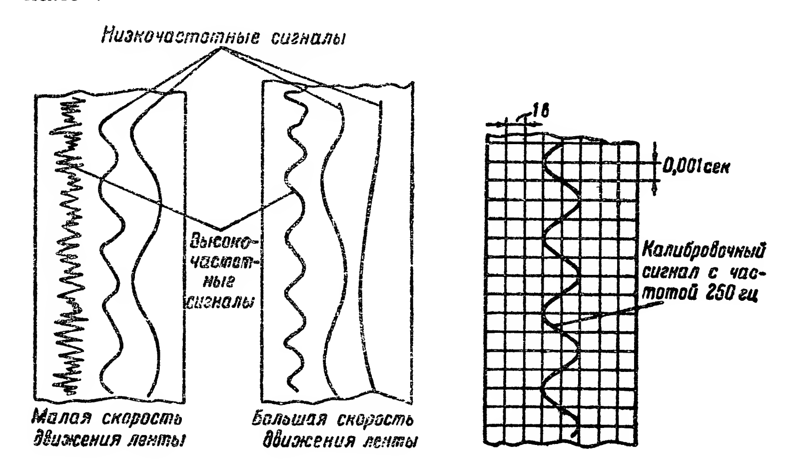


Рис. 31. Виды кривых записи сигнала при разных скоростях движения ленты

Обычно скорость движения ленты выбирается в пределах 0,5—100 *см/сек* и более.

Запись на ленте характеризует изменение регистрируемого сигнала во времени.

Для связи изменений сигнала со временем на ленту наносятся метки времени. Они могут фиксироваться в виде черточек вдоль ленты через равные интервалы, соответствующие определенным отрезкам времени (при постоянной скорости движения пленки). Для примера на рис. 31 указаны метки времени, расположенные через 5 *мм*, что соответствует 1 *м/сек*.

Другой метод отсчета времени предусматривает запись на ленту с помощью второго записывающего элемента синусоидальных колебаний определенной частоты. По известной продолжительности периода этих колебаний может градуироваться кривая записи основного сигнала.

Для удобства определения величины записанного сигнала при дешифрировании записи вдоль ленты наносятся масштабные линии уровней сигнала (рис. 31,*в*), образующие масштабную сетку. Поперечные линии этой сетки проводятся через определенные отрезки времени, а горизонтальные отображают масштаб амплитудных значений записанного сигнала.

Для записи сигналов с выхода многоканальной радиотелеметрической системы применяются устройства с несколькими записывающими приспособлениями. Недостатком многосигнального записывающего устройства является то, что часто приходится записывать одновременно сигналы с большой и малой частотами на одну и ту же ленту. В результате затрудняется расшифровка записи, так как при малой скорости запись быстроизменяющихся сигналов получается «сжатой». При быстром перемещении ленты запись медленноизменяющихся сигналов оказывается недопустимо «растянутой».

Для устранения указанного недостатка в многоканальных радиотелеметрических системах применяется несколько записывающих устройств, причем одни из них записывают быстроизменяющиеся сигналы, а другие — медленноизменяющиеся сигналы.

Наиболее распространены следующие записывающие приспособления:

— перо с чернилами для записи сигналов на бумаге;

— нагретая игла для записи на бумаге со специальным покрытием;

— специальное электрическое приспособление для записи на бумаге, чувствительной к электрическому току;

— источник света для записи на светочувствительной бумаге или пленке.

Перо с чернилами представляет собой простейшее записывающее приспособление. Запись пером ведется на обычной недорогой бумаге. Различные сигналы записываются на одной и той же бумажной ленте чернилами различного цвета. Инерция пера и его держателя сужают диапазон записываемых прибором частот до 100 *гц*. Сухое трение пера о бумагу также приводит к погрешностям при записи.

В некоторых записывающих устройствах вместо пера и чернил применяется специальная бумага, на которой

линия записи создается контактным способом при помощи накаленной проволоки (иглы) либо при прохождении тока через бумагу от электрода, расположенного на месте пера.

Нагревание иглы производится электрическим током. Запись ведется на специальной бумаге, имеющей два слоя: верхний — специально обработанная тонкая бумага, нижний — черная бумага. При записи под действием нагретой иглы верхний слой бумаги разрушается, в образуемой бороздке при этом видна черная бумага.

При изменении скорости движения бумажной ленты температура нагретой иглы автоматически изменяется. Это особенно важно при увеличении скорости движения. Если при этом не повысить нагрев иглы, то она не будет успевать разрушать верхний слой бумаги и записи не будет заметно.

Устройство записи на бумаге, чувствительной к электрическому току, имеет те же преимущества, что и устройство записи с нагретой иглой, т. е. не требуется специальной обработки бумаги после записи. При протяжении ленты под неподвижной иглой действием тока, протекающего между иглой и бумагой, разрушается тонкий верхний слой бумаги и остается темный след.

В качестве индикаторного устройства, приводящего в движение записывающее приспособление в соответствии с величиной регистрируемого сигнала, применяется гальванометр. Катушка гальванометра (рис. 32) помещается в поле постоянного магнита. Если через нее пропустить ток, то она повернется на угол, пропорциональный величине проходящего тока (сигнала). Вместе с катушкой переместится закрепленное на ней записывающее приспособление (перо с чернилами или игла).

Для увеличения чувствительности регистрирующего устройства записываемый сигнал предварительно усиливается. Частотные характеристики таких усилителей в большинстве случаев должны быть такими, чтобы можно было усиливать наиболее низкие частоты вплоть до постоянного тока. Частотная характеристика индикаторного устройства и главным образом наивысшая частота сигнала, которую оно может воспроизводить, определяются инерционностью подвижных частей этого устройства.

В устройствах записи на бумаге, чувствительной к электрическому току, часто вместо одной подвижной иглы устанавливается большое количество неподвижных записывающих игл, расположенных по прямой линии поперек бумажной ленты. Запись в этом случае ведется путем последовательного подключения входного сигнала

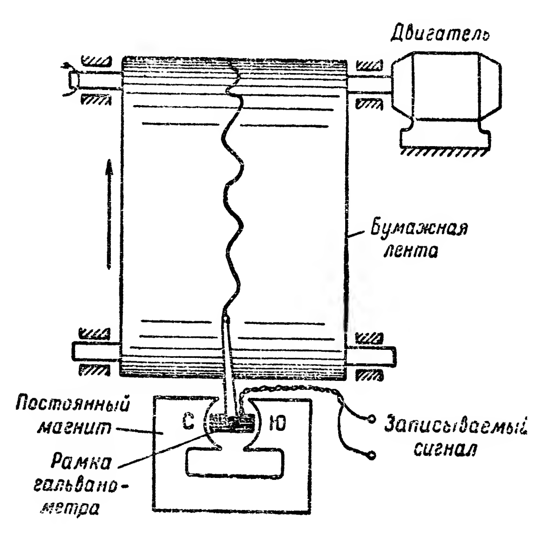


Рис. 32. Запись сигналов с помощью гальванометра

к иглам в соответствии с его величиной и знаком. Такое записывающее устройство не имеет подвижных частей и, если переключение записывающих игл производится электронным путем, устройство оказывается практически безынерционным. Использование устройства записи с неподвижными иглами делает его конструкцию прочной и невосприимчивой к ударам и вибрациям.

Наибольшее распространение получили осциллографические устройства, в которых регистрируемый сигнал записывается лучом света на светочувствительной бумаге или пленке. Такое устройство состоит (рис. 33) из гальванометра, к катушке которого прикрепляется зеркальце. Катушка с зеркальцем подвешены на нити.

Положение зеркала зависит от величины тока, протекающего по катушке гальванометра. При изменении

величины тока в катушке зеркальце будет поворачиваться вокруг оси подвеса. Узкий пучок света, падающий на зеркальце от неподвижной лампочки, отражается от него и падает на светочувствительную пленку или бумагу, которая движется с постоянной скоростью перпендикулярно плоскости качания светового луча. В результате воздействия света на бумаге (пленке) после ее фотообработки образуется темная линия записи сигнала.

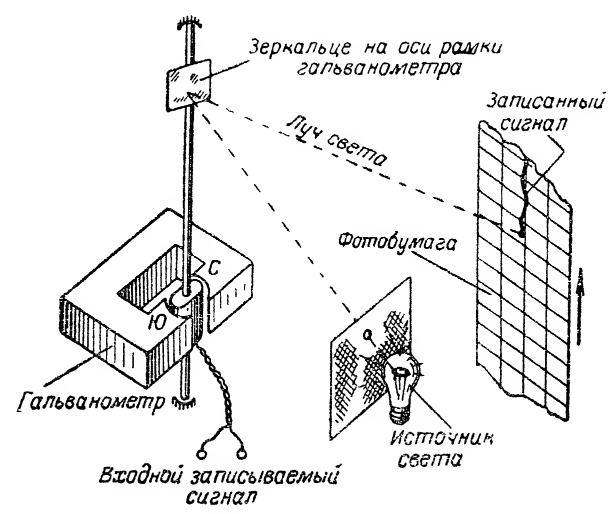


Рис. 33. Осциллографическая запись сигналов на фотобумаге

Записывающие устройства, производящие запись лучом, обладают рядом существенных преимуществ. К их числу относятся: возможность ведения одновременной записи нескольких сигналов при скрещивании записывающих лучей, чего нельзя сделать в устройствах с записывающими перьями и иглами, высокая скорость ленты, хорошая частотная характеристика и ряд других преимуществ.

Существующие осциллографы такого типа имеют до 50 каналов для записи раздельных сигналов. Гальванометр с зеркальцем в таком осциллографе, с помощью которого записывается сигнал одного канала, называется шлейфом, а сами осциллографы — шлейфовыми.

В многоканальных шлейфовых осциллографах имеется ряд вспомогательных средств: лампочки (или шлейфы), задающие временные метки поперек пленки, устройства для маркировки линий записи, прерывающие в определенной последовательности свет, падающий от отдельных шлейфов, устройства, печатающие номера записи и т. д.

Для записи телеметрических сигналов на фотопленке используются также специальные электронно-лучевые осциллографы. Записываемый сигнал подается на вертикально отклоняющие пластины трубки (через усилитель) и вызывает перемещение светящегося пятна на экране по вертикали.

Положение светящейся точки под действием записываемого сигнала фиксируется на фотопленке, движущейся перед экраном осциллографа в направлении, перпендикулярном отклонению луча.

Таким образом, изменение телеметрируемого параметра регистрируется на фотопленке в виде соответствующей кривой, отражающей указанные изменения во времени.

Дешифрирование записей телеметрических сигналов

Расшифровать записи телеметрических сигналов, или, как говорят, дешифрировать их, значит установить с минимально возможной погрешностью значения измеряемой величины с течением времени. Как же выполнить эту задачу и насколько она сложна, если в распоряжении дешифровщика имеются записи электрических сигналов, характеризующие измеряемые величины?

Как отмечалось ранее, на выходе датчика, находящегося на передающей стороне радиотелеметрической системы, образуется электрический сигнал, пропорциональный значению измеряемой неэлектрической величины. Если радиолиния, по которой передается выходной сигнал датчика, не нарушит этой пропорциональности, то обратное преобразование электрического сигнала в значения измеряемой величины на выходе приемной части телеметрической системы производится весьма просто. Для этого при испытании радиолинии определяется коэффициент обратного преобразования, или, что одно и то же, масштаб записей электрических сигналов. Пу-

тем умножения величины записанного сигнала на этот коэффициент находят значения телеметрируемой величины. Однако радиолиния нарушает пропорциональность между передаваемой выходной электрической величиной датчика и его входной неэлектрической величиной. Да и сами датчики, если говорить о точном преобразовании, во многих случаях не обладают такой пропорциональностью (нелинейны). Поэтому при дешифрировании нельзя пользоваться одной и той же величиной масштабного коэффициента обратного преобразования. При малых значениях записанной электрической величины этот коэффициент имеет одно значение, а при больших — другое. При испытании радиолинии определяется зависимость масштабного коэффициента обратного преобразования от значений измеряемой величины на входе радиолинии. Эта зависимость называется градуировочной кривой. Ею пользуются при дешифрировании для получения более точных результатов.

Процесс дешифрирования осциллографической записи сводится к следующим основным этапам:

— определение величин смещения точек кривой записи телеметрируемого сигнала от нулевой или некоторой вспомогательной калибровочной линии, имеющейся на ленте вместе с линией записи сигнала;

— преобразование измеренных смещений при помощи предварительно снятой калибровочной кривой радиотелеметрической системы в истинное значение телеметрируемой величины в тех же единицах, в которых она измерялась на входе системы;

— представление результатов дешифрирования в виде графиков зависимости телеметрируемой величины от времени или графиков зависимости одной телеметрируемой величины от другой.

Если требуется дискретное представление измеряемой величины, то результаты дешифрирования могут представляться в форме таблиц или перфокарт. Последние используются в электронных счетных машинах.

Для ускорения процесса дешифрирования и улучшения точности результатов этого процесса разработано много способов и различных механических и электронных приборов и приспособлений.

Например, при измерении отклонения точек записи сигнала от нулевой или другой линии вручную устанав-

ливается некоторая измерительная отметка сначала против начальной линии отсчета, а затем против точки линии записи сигнала. Разность измеренных значений отклонений точки записи сигнала и нулевой точки превращается механическим преобразователем (вычислителем), связанным с ручкой установки измерительной отметки, в число, отражающее значение телеметрируемой величины. Это число может быть автоматически записано в таблицу или же использовано при составлении перфокарт, что необходимо для ввода в цифровую электронную счетную машину результатов дешифрирования.

При описанной операции дешифрирования калибровочные поправки вносятся в механический преобразователь (вычислитель), в котором значение цифр на выходе формируется с учетом калибровочной кривой радиотелеметрической системы.

Для сокращения времени обработки телеметрических записей и особенно в тех случаях, когда результаты телеизмерений нужно использовать немедленно, процесс дешифрирования автоматизируется.

Обработка данных на выходе одного из каналов телеметрической системы может вестись двумя способами. Первый из них состоит в том, что выходной сигнал канала предварительно регистрируется одним из описанных методов, а после окончания эксперимента запись подвергается обработке. При втором способе выходной сигнал канала обрабатывается без предварительной записи.

При первом способе допускается ручная, автоматизированная и автоматическая обработка сигнала. Второй способ допускает только автоматическую обработку сигнала. Он используется в тех случаях, когда результаты обработки необходимы в процессе проведения эксперимента.

Как уже указывалось, в результате дешифрирования устанавливается, как изменялась телеметрируемая величина с течением времени.

Всегда ли интересна для испытателя сама по себе зависимость изменений телеметрируемой величины во времени, а если неинтересна, то для чего она все же определяется?

Чтобы ответить на эти вопросы рассмотрим следующий пример.

Пусть для исследования верхних слоев атмосферы запускается метеорологическая ракета. На ней устанавливаются датчики, реагирующие на различные параметры атмосферы, например, давление, температуру, влажность, высоту и др.

Запись телеметрических сигналов и сигналов времени производится с момента запуска ракеты. После дешифрирования строится зависимость изменения телеметрируемых величин от времени с момента запуска ракеты.

На рис. 34, *а* приведена примерная зависимость изменения давления от времени. Эта зависимость не может быть непосредственно использована, так как по ней нельзя установить, какому месту наземного пространства соответствует то или иное измеренное давление. Иными словами, приведенная зависимость сама по себе оказывается бесполезной.

Если же при обработке результатов радиотелеизмерений указанную зависимость использовать совместно с зависимостью высоты подъема ракеты от времени, то можно установить, как изменяется атмосферное давление с высотой подъема.

Делается это так. Определяются значения атмосферного давления и высоты подъема в одни и те же моменты времени полета ракеты, как это показано на рис. 34, *а*, *б*. Полученные значения откладываются по осям отдельного графика (рис. 34, *в*), и строится зависимость атмосферного давления от высоты подъема.

Таким образом могут быть получены и другие интересующие нас зависимости одних параметров от других. Следовательно, из отдельных зависимостей телеметрируемых величин от времени в результате дешифрирования путем исключения времени как вспомогательного параметра можно получить зависимости одних параметров от других. Это составляет важнейшую задачу дешифрирования.

Результаты дешифрирования радиотелеметрических измерений после тщательного анализа используются при решении научных и инженерных задач.

В настоящее время радиотелеметрические системы часто используются как системы контроля за полетом беспилотных летательных аппаратов — ракет различного назначения, искусственных спутников Земли и космических кораблей. Данные контроля при этом обычно дол-

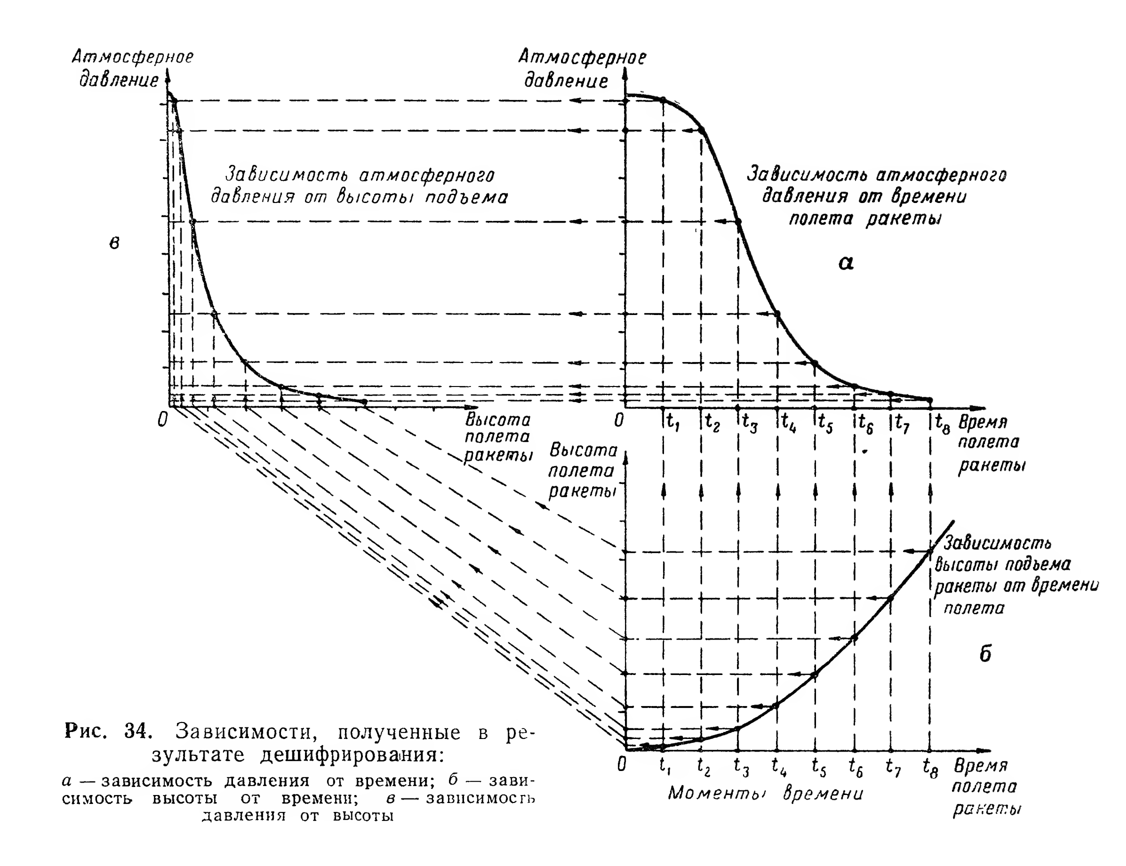


Рис. 34. Зависимости, полученные в результате дешифрирования:

а — зависимость давления от времени; *б* — зависимость высоты от времени; *в* — зависимость давления от высоты

жны быть получены как можно быстрее с тем, чтобы их можно было использовать в целях управления быстролетящим объектом.

В таких случаях обработка телеметрических сигналов на приемном пункте производится автоматически с помощью электронной вычислительной техники.

Результаты вычислений индицируются на пункте управления с помощью стрелочных приборов и световых табло, а также могут вводиться в электронные машины, автоматически управляющие полетом объекта или работой его отдельных агрегатов.

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗМЕРЕНИЯ НА РАССТОЯНИИ

М., Воениздат, 1963. 72с.

Редактор *Шарогородский С. Г.*
Технический редактор *Колачев С. Г.*
Корректор *Федоткича М. М.*

Сдано в набор 25.9.62 г. Подписано к печати 8.1.63 г.
Г-92018
Формат бумаги $84\times108^{1}/_{32}$—$2^{1}/_{4}$ печ. л. = 3,69 усл. печ. л. = 3,433 уч.-изд. л.
Тираж 14 000 экз. ТП 63 г. № 165
Изд. № 6/3926. Зак. 571.

1-я типография
Военного издательства Министерства обороны СССР
Москва, К-6, проезд Скворцова-Степанова, дом 3
Цена 12 коп.

Цена 12 коп.